

Schlussbericht

der Forschungsstelle(n)

FSt 1 von 2, TU Darmstadt, Papierfabrikation u. Mechanische Verfahrenstechnik
FSt 2 von 2, IfP-GmbH, Institution for Paper Science and Technology

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur
Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **15408 N**

***Qualitätseigenschaften der wichtigsten Altpapiersorten
in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen***

(Bewilligungszeitraum: 01.11.2007 - 31.07.2010)

der AiF-Forschungsvereinigung

Kuratorium für Forschung und Technik
der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e.V.

Darmstadt, den 18.11.2010

Ort, Datum

Hans-Joachim Putz  (FSt 1, PMV)

Sabine Weinert  (FSt 2, IfP-GmbH)

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)
an der/den Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zusammenfassung

Die deutsche Papierindustrie hat über die Jahre 2007-2009 im Mittel jährlich rund 15,3 Mio. t Altpapier zur Herstellung von 22,3 Mio. t Papier eingesetzt. Mit einer durchschnittlichen Altpapier-Einsatzquote von 69 % nimmt Altpapier die führende Position als Faserrohstoff bzw. Sekundärfaserrohstoff für die Papierherstellung in Deutschland ein. Altpapier wird gemäß der europäischen Standardsortenliste DIN EN 643 in über 60 Sorten unterteilt und definiert. Die Definition einer Altpapiersorte erfolgt überwiegend über eine grobe Beschreibung ihrer Zusammensetzung nach Anteilen erwünschter Papiere und Pappen. Aus dieser Beschreibung lassen sich die Qualität einer Altpapiersorte im Sinne ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften und damit ihre Verwendungsmöglichkeiten in einer bestimmten Produktgruppe nicht ableiten.

Die Qualität von Altpapier unterliegt einem dynamischen Prozess, der – will man ihn ganzheitlich erfassen – eine kontinuierliche Messung von Qualitätseigenschaften voraussetzt. Die stoff- und papiertechnologischen Eigenschaften einer Altpapiersorte werden durch die Eigenschaften der Papier- und Pappenprodukte bzw. die Eigenschaften der Rohstoffe und ihre Zusammensetzung im Altpapier beeinflusst. Von großer Bedeutung ist hierbei das Recycling selbst. Mehrfachrecycling beeinträchtigt zahlreiche Eigenschaften der rezyklierten Faser. Dies bedeutet, dass sich stoff- und papiertechnologische Eigenschaften von Altpapier selbst bei gleichbleibender Papierzusammensetzung in Abhängigkeit von den Umlaufzyklen der Fasern verändern.

Recycling kann nur funktionieren, wenn gesammeltes Altpapier unter wirtschaftlichen Bedingungen auf umweltverträgliche Art und Weise zu marktfähigen Produkten verarbeitet werden kann. Dafür ist es erforderlich, Auswirkungen des gesteigerten Altpapierrecyclings auf die Altpapierqualität zu ermitteln, um Prognosen für die Zukunft erstellen zu können. Ergebnisse früherer Untersuchungen zur Altpapierqualität sind veraltet, weil

- neue Stoffparameter an Bedeutung gewonnen haben (z. B. Makro-Stickygehalt),
- die Aufbereitungs- und Papierveredelungstechnologien weiterentwickelt wurden (z. B. Deinking-Verfahren),
- der Recyclingkreislauf durch Erhöhung der Altpapier-Einsatzquote stärker geschlossen wurde,
- sich zunehmend teilautomatisierte und vollautomatische Anlagen zur Sortierung von Altpapier etablieren und keine Aussagen über den Einfluss auf die Qualität der generierten Altpapiersorten existieren.

Vorangegangene Untersuchungen zur Situation der Altpapierqualität beschränkten sich auf einzelne Altpapiersorten oder wurden nur regional begrenzt durchgeführt. Abgestimmt auf die ausgewählten Sorten, wurden neben der Zusammensetzung im begrenzten Umfang auch stoff- und papiertechnologische Eigenschaften von Altpapieren untersucht. Erstmals wurden 1996 die Auswirkungen des gesteigerten Altpapiereinsatzes für grafische Altpapiere (Deinkingware, bunte Akten) in Abhängigkeit vom Erfassungssystem analysiert. Des Weiteren bestehen keine Untersuchungen zum Einfluss auf die Altpapierqualität in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen.

In dieser Untersuchung wurden von den mengenmäßig wichtigsten Altpapiersorten [in eckiger Klammer, alte Sortennummern]:

- Sortiertes, gemischtes Altpapier, 1.02 [B 12]
- Kaufhausaltpapier, 1.04 [B 19]
- Deinkingware, 1.11 [D 39]
- Gebrauchte Kraftwellpappe II, 4.03 [W 52]

über 30 Qualitätsmerkmale ermittelt, aus denen Altpapierverarbeiter den Gebrauchswert der jeweiligen Altpapiersorte ableiten können. Es wurden daher Grundeigenschaften (z. B. Feuchtegehalt, Zusammensetzung, Aschegehalt), stoff- und papiertechnologische Eigenschaften (z. B. Makro-Stickygehalt, Faserfraktionen, Reißlänge, Weiterreißarbeit, Flachstauchwiderstand, Weißgrad) sowie chemische Inhaltstoffe (z. B. chemischer Sauerstoffbedarf, Pentachlorphenol) der Altpapiersorten analysiert.

Vor diesem Hintergrund wurde der Frage nachgegangen, ob sich Unterschiede in Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad der trockenen Altpapiersortierung sowie im Vergleich mit früheren Untersuchungsergebnissen aus den 80er und 90er Jahren Veränderungen in der Altpapierqualität feststellen lassen.

In einem Zeitraum von knapp drei Jahren wurden Untersuchungen in 11 Papierfabriken und in sechs Altpapier-Sortierbetrieben innerhalb von Deutschland an den relevanten Altpapiersorten durchgeführt. Zusätzlich wurde das in den Altpapier-Sortierbetrieben zur Sortierung eingehende Altpapier auf seine Zusammensetzung hin untersucht.

Die Beprobung von Altpapier in loser Lieferform (1.11 und Altpapierproben aus Altpapier-Sortierbetrieben) wurden in Anlehnung an INGEDE-Methode 7 durchgeführt. Die Probenahme von Ballenware erfolgte mit dem PMV-Kernbohrer. Dieser erlaubt die Entnahme einer repräsentativen Probe aus Altpapierballen, ohne die zu prüfenden Eigenschaften zu beeinträchtigen. Aufgrund der gegebenen Verfügbarkeit, unterschiedlicher Heterogenität der jeweiligen Altpapiersorte und der mengenmäßigen Relevanz wurden nicht alle Altpapiersorten mit der gleichen Anzahl an Ballen untersucht. Insgesamt wurden über 250 Altpapierballen (~ 500 einzelne Kernbohrungen) gezogen, wobei für die Sorten 1.02 und 1.04 die größte Anzahl analysiert wurde. Hinzu kommen noch 42 Einzelproben an loser Deinkingware (1.11) aus Papierfabriken und insgesamt 30 Proben in loser Form aus Altpapier-Sortierbetrieben.

Feuchtigkeitsgehalt

Im Vergleich zu vorangegangenen Untersuchungen der 90er Jahre hat sich der Feuchtigkeitsgehalt in allen untersuchten Altpapiersorten verringert (im Durchschnitt um 3 %-Punkte). Der mittlere Feuchtigkeitsgehalt der untersuchten Altpapiersorten 1.11 und 4.03 lag unterhalb des, in der europäischen Standardsortenliste (Juni 2000) festgeschriebenen, maximal zulässigen Feuchtigkeitsgehalt von 10 %. Die Altpapiersorten 1.02 und 1.04 überschritten den maximal zulässigen Feuchtigkeitsgehalt mit knapp einem Prozent-Punkt. Es wurde eine große Streubreite des Feuchtigkeitsgehalts, mit Werten weit über 15 %, festgestellt. Ursachen dafür sind einzelne Schlechtwetterperioden im Zeitraum der Probenahmen sowie die offene Erfassung, Lagerung und Transport unterer Altpapiersorten.

Anteil an grafischen Papieren

Bei der Altpapiersorte 1.11 wurde ein Anstieg am grafischen Papieranteil von einem Prozentpunkt innerhalb der letzten Dekade in Richtung des Niveaus von 1984 ermittelt. Der durchschnittliche Anteil der in der Altpapiersorte 1.02 enthaltenen grafischen Papiere liegt auf einem ähnlichen Niveau wie im Jahr 1999 und überschreitet den laut DIN EN 643 maximal zulässigen Anteil von 40 % an Zeitungen und Illustrierten um rund 5 %-Punkte. Der grafische Anteil in der Altpapiersorte 1.04 ist ebenfalls innerhalb der letzten Dekade (um 6 %-Punkte) angestiegen. Der enthaltene grafische Papieranteil der Altpapiersorte 4.03 ist < 0,5 %.

Anteil an Verpackungspapier und Karton

Der Anteil an Verpackungspapier und Karton in der Deinkingware (1.11) ist innerhalb der letzten 10 Jahre um knapp 2 %-Punkte angestiegen und zählt zu den nicht-deinkbaren bzw. unerwünschten Papieren. Etwa die Hälfte der enthaltenen Verpackungspapiere und Kartonaugen besteht aus weiß gedeckten Wellpappen, weißen Kartonagen und stark bedruckten Verpackungen. Diese lassen sich durch eine visuelle Kontrolle nur schwer detektieren, da sie sich optisch kaum von der üblichen Zusammensetzung (Zeitungen, Illustrierte und sonstige grafische Papiere) hervorheben. Insgesamt wurde für 1.11 eine zwischenzeitliche Verringerung der nicht-deinkbaren Papiere (Verpackungspapiere und Karton, ungeeignete Papiere) innerhalb der letzten Dekade festgestellt.

Der Verpackungspapier- und Kartonanteil der Altpapiersorte 1.02 ist nach erheblichen Schwankungen innerhalb der 90er Jahre im Jahr 2010 wieder auf einem ähnlichen Niveau wie vor 26 Jahren (ca. 40 %). Gegensätzlich verhält sich der Anteil an Verpackungspapier und Karton in der Altpapiersorte 1.04. Seit 1994 ist ein leichter Rückgang an enthaltenen Verpackungspapieren und Kartonagen festgestellt worden. Für die Altpapiersorte 4.03 gab es keine signifikanten Veränderungen.

Anteil an ungeeigneten Papieren und Pappen in grafischem Altpapier

Die Kategorie ungeeignete Papiere und Pappen bezieht sich in dieser Untersuchung nur auf die Altpapiersorte 1.11 und zählt zu den nicht-deinkbaren bzw. unerwünschten Papieren. Für das Deinking ungeeignete Papiere sind z. B. Hygienepapiere, durchgefärbte Papiere oder Tapeten. Für den Anteil an ungeeigneten Papieren konnte eine Verringerung in der Deinkingware von knapp 3 %-Punkten innerhalb der letzten 10 Jahre festgestellt werden. Ebenso konnte für den Gesamtanteil an nicht-deinkbaren Papieren im 1.11er Altpapier eine Reduzierung seit der Untersuchung im Jahr 1999 verifiziert werden.

Anteil an sonstigen Papieren und Pappen in braunen Altpapieren

Die Kategorie sonstige Papiere und Pappen bezieht sich in dieser Untersuchung nur auf die braunen Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 4.03. Sonstige Papiere sind z. B. Hygienepapiere oder Tapeten. Die überwiegend zur Herstellung von Verpackungspapieren eingesetzten braunen Altpapiersorten können diese Papiere durchaus enthalten während diese für das Deinking unerwünscht sind. Für den Anteil an sonstigen Papieren und Pappen konnte eine Verringerung in den braunen Altpapiersorten innerhalb der letzten Dekade festgestellt werden.

Anteil an papierfremden Stoffen

Der Anteil an papierfremden Stoffen kann unter Einbezug der Standardabweichung für die untersuchten Altpapiersorten 1.11, 1.02, 1.04 und 4.03 innerhalb der letzten 26 Jahre nahezu als konstant angesehen werden. Im Mittel über die Untersuchungsergebnisse der Jahre 1984, 1994/1996, 1999 und 2010 liegt der durchschnittliche Anteil an papierfremden Stoffen der Altpapiersorte 1.11 unterhalb von einem Prozent, der Altpapiersorte 4.03 bei einem Prozent, der Altpapiersorte 1.04 unterhalb von 2 % und der Altpapiersorte 1.02 bei ca. 3 %. Gemäß DIN EN 643 sollte Altpapier grundsätzlich frei von papierfremden Stoffen geliefert werden.

Aschegehalt

Die ersten Untersuchungen der Altpapiersorte 1.11 gehen auf das Jahr 1996 zurück. Von da an ist der Aschegehalt im Vergleich zu den braunen Altpapiersorten überproportional angestiegen. Der Aschegehalt der braunen Altpapiersorten ist seit 1984 bis 2010 linear angestiegen. Für die Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 4.03 liegen die jeweiligen Aschegehalte zwar auf einem unterschiedlichen Niveau, allerdings ist der Anstieg für diese Altpapiersorten proportional zueinander. Dies ist zum einen durch den erhöhten Einsatz von Mineralien und Additiven in den letzten 26 Jahren und zum anderen durch die zunehmende Schließung der Recyclingkreisläufe bedingt.

Entwässerungsverhalten

Die Mahlung von Faserstoffen hat einen großen Einfluss auf andere Papiereigenschaften. Somit besteht zwischen dem Entwässerungsverhalten von Altpapiersuspensionen bzw. dem in Schopper-Riegler-Wert und anderen Parametern eine Abhängigkeit. Dementsprechend ist z. B. mit steigendem Aschegehalt auch das in SR gemessene Entwässerungsverhalten bzw. die Entwässerungszeit bei allen untersuchten Altpapiersorten angestiegen.

Faserfraktionierung

Für den Stippengehalt sowie für die Anteile an Faserlang-, Faserkurz- und Faserfeinstoff resultieren keine signifikanten Veränderungen im Vergleich zu vorangegangenen Untersuchungen in den Jahren 1984-1999.

Makro-Stickygehalt

Im Jahr 1999 wurde im Rahmen des AiF-Projektes 11420 „Zusammensetzung und Qualität von Altpapier in Abhängigkeit der regionalen und saisonalen Erfassung“ erstmals eine umfangreiche Untersuchung zur Bestimmung des Makro-Stickygehaltes im Hinblick auf die Qualitätseigenschaften der untersuchten Altpapiersorten durchgeführt. Im Vergleich zu den Untersuchungen in den neunziger Jahren hat sich der Makro-Stickygehalt für die Altpapiersorte 1.11 erhöht. Dies könnte mit dem zunehmenden Anteil an klebenden Applikationen in Illustrierten zusammenhängen. Allerdings konnte für die Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 4.03 verringerter Makro-Stickygehalt festgestellt werden.

Festigkeitseigenschaften

Die Reißlänge der Altpapiersorte 1.11 kann seit Beginn der Untersuchungen im Jahr 1996 bis zum Jahr 2010 nahezu als konstant angesehen werden. Für die braunen Sorten 1.02, 1.04 und 4.03 konnte eine Steigerung der Reißlänge seit der Untersuchung von 1984 ermittelt werden. Dies wird dadurch begründet, dass der Zellstoffgehalt von z. B. altpapierhaltigem Zeitungsdruckpapier heute höher liegt als von altpapierfreien oder altpapierarmen Zeitungsdruckpapieren aus Mitte der 80er Jahre.

Mit Ausnahme der Altpapiersorte 1.11 wurden für die übrigen Altpapiersorten seit der Untersuchung von 1984 ebenfalls Steigerungen der Weiterreißfestigkeit verifiziert.

Bei allen untersuchten Altpapiersorten konnten keine signifikanten Veränderungen der Berstfestigkeit im Vergleich zu den Ergebnissen der 90er Jahre abgeleitet werden.

Die für Verpackungspapiere wichtigen Kriterien Ringstauchwiderstand (RCT), Streifenstauchwiderstand (SCT oder SSW) und Flachstauchwiderstand (CMT) wurden nur für die braunen Altpapiersorten untersucht. Für beide Festigkeitseigenschaften (RCT und CMT) konnte seit 1984 eine beständige Steigerung beobachtet werden. Innerhalb der letzten Dekade wurden keine bzw. nur geringe Unterschiede des RCT, SCT und CMT der untersuchten braunen Sorten festgestellt.

Befürchtungen, dass sich die in Deutschland seit 1984 stetige Erhöhung der Altpapier-Einsatzquote nachteilig auf die Festigkeitseigenschaften von altpapierhaltigen Papieren ausgewirkt haben könnte, bestätigten sich in dieser Untersuchung nicht.

Die Festigkeitseigenschaften sind zwar von 1984 bis 1999 angestiegen. Im Vergleich zu 1999 sind die Festigkeitseigenschaften heute aber eher auf einem ähnlichen Niveau bzw. sie steigen nicht weiter an. Eine Erklärung für die zwischenzeitlich positive Entwicklung der Festigkeitseigenschaften wird in folgenden Punkten gesehen:

- Altpapier substituiert in erster Linie Holzstoffe, was zu einem zunehmenden Zellstoffanteil im Altpapier führt.
- Technologische Verbesserungen in der Altpapieraufbereitung führen zu einem verstärkten Ausschleusen unbrauchbarer Komponenten.
- Eine Verbesserung der Qualitätseigenschaften der eingesetzten Primärfaserstoffe durch Verbesserungen in Anlagenteilen und Prozessführung der klassischen Holzstoff- und Zellstofferzeugung sowie neuere Herstellungsverfahren ist wahrscheinlich.
- Der zunehmende Einsatz von Stärke bei der Herstellung von Papieren und Pappen zur Verbesserung von Festigkeits-, Ver- und Bedruckbarkeitseigenschaften als Binder in Streichfarben und Klebstoff bei Verpackungspapieren.

Optische Eigenschaften

Es konnten keine Verbesserungen der optischen Eigenschaften der grafischen Altpapiersorte 1.11 im Vergleich zu früheren Untersuchungen festgestellt werden. Der durchschnittliche Weißgrad des undeinkten Stoffs von 1.11 hat sich zwar von 1996 an kontinuierlich leicht verbessert. Für den Weißgrad des deinkten Stoffs trifft dies allerdings nicht zu. Die durch das Flotationsdeinking erzielte Weißgradsteigerung lag im Jahr 1996 mit 14,5 %-Punkten am höchsten, in den Jahren 1999 und 2010 konnte nur noch eine Steigerung des Weißgrades von

11 %-Punkten erreicht werden. Dies zeigt, dass die Altpapiermischung zwar eine bessere Weiße im undeinkten Stoff liefert, letztendlich aber daraus kein besseres Deinkingergebnis resultiert. Im Laufe der letzten Jahre wurden zunehmend alternative Druckverfahren und -farben (z. B. Inkjet oder Flexo) eingesetzt. Diese Druckfarben besitzen andere Eigenschaften als die Druckfarben, welche für die herkömmlichen Druckverfahren wie z. B. Tiefdruck oder Offsetdruck verwendet werden. Anhand dieser Untersuchung wurde deutlich, dass dies nicht ohne Einfluss auf die Deinkbarkeit geschieht. Durch neue Druckverfahren wie Flexo und Inkjet wurde offenbar der Deinkingprozess negativ beeinträchtigt.

Für die braunen Altpapiersorten wurde ein enger Zusammenhang zwischen dem Weißgrad und dem Anteil grafischer Papiere ermittelt. Von den braunen Altpapiersorten enthielt 1.02 von 1984 bis 2010 den höchsten Anteil an grafischen Papieren und weist somit auch den höchsten Weißgrad auf.

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

Um das über Altpapier eingebrachte CSB-Potential abschätzen zu können, wurde im Weißband-Filtrat einer Suspension (aus Altpapier und Frisch- bzw. Leitungswasser) der CSB bestimmt. Durch Normierung auf die Zerfaserungsdichte wurde der spezifische chemische Sauerstoffbedarf in kg O₂/t Altpapier berechnet.

Eine Reduzierung des spezifischen CSB ist nur bei der Altpapiersorte 1.11 festzustellen. Verbunden mit Verbesserungen in der Prozessführung (Reinigungsmaßnahmen, Prozesswasserführung, Chemikaliendosierung) bei der Papierherstellung, führte die Substituierung der Primärfaserstoffe durch die mehrfach rezyklierten Fasern des Altpapiers zu einer Reduzierung des spezifischen CSB des Rohpapiers. Daraus erklärt sich auch die stetige Verringerung des spezifischen CSB für die Altpapiersorte 1.11 seit 1996 über 1999 bis 2010.

Bei den braunen Sorten ist gegenüber 1984 bzw. 1996 ein Anstieg des spezifischen CSB zu erkennen. Ursachen werden in einem vermehrten Einsatz von Stärke zur Steigerung der Festigkeitseigenschaften sowie in den engeren Wasserkreisläufen bei der Papierherstellung gesehen.

Chlorierte Kohlenwasserstoffe (OX)

In der Empfehlung XXXVI ist kein Grenzwert für den OX-Gehalt von Papieren und Pappen für den Lebensmittelkontakt festgelegt. Der für Klärschlamm-Komposte geltende Grenzwert von 250 mg/kg wurde von keiner der Altpapiersorten überschritten.

Im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungen der 90er Jahre hat sich der OX-Gehalt in den Altpapiersorten 1.02 und 4.03 deutlich reduziert. Aus der Untersuchung der Altpapiersorten 1.11 und 1.04 resultiert keine signifikante Änderung des OX-Gehalts im Vergleich zu den Untersuchungen im Jahr 1999.

Der mittlere OX-Gehalt (150 mg/kg) der untersuchten Altpapiersorten ist geringer als der mittlere OX-Gehalt der im Jahr 1999 untersuchten Altpapiersorten (178 mg/kg). Im Jahr 1993 fand eine Untersuchung an altpapierhaltigen Papieren statt. Der ermittelte OX-Gehalt verschiedener grafischer und brauner altpapierhaltiger Papiere lag damals im Mittel noch bei 205 mg/kg. Der Rückgang des durchschnittlichen OX-Gehalts im Altpapier ist aufgrund eines vermehrten Einsatzes von TCF bzw. ECF gebleichten Zellstoffen plausibel.

Pentachlorphenol (PCP)

Um den Vergleich zu vorangegangenen Untersuchungen zu ermöglichen, musste die Bestimmung des Gehaltes an PCP zusätzlich zur heutigen Bestimmung im Kaltwasserextrakt (KWE) nach dem damaligen Verfahren (mittels Methanolextrakt) erfolgen.

In allen Altpapiersorten sind die mittels Methanolextrakts durchschnittlichen sortenspezifischen Gehalte an PCP weiter gesunken und liegen weit unterhalb der derzeitigen Grenzwerte für fertige Papiere. Im Mittel über alle untersuchten Altpapiersorten beträgt der Gehalt an PCP (mittels Methanolextrakt) heute nur noch 33 µg/kg TS, während dieser im Jahr 1999 noch 52 µg/kg TS betrug.

In Deutschland gilt heute der in der Empfehlung XXXVI festgelegte Grenzwert. Dieser schreibt einen maximalen Gehalt an PCP von 150 µg/kg im KWE im fertigen Papier vor. Im Mittel über alle aus den jeweiligen Altpapiersorten hergestellten Suspensionen beträgt der Gehalt an PCP (mittels KWE) heute nur 13 µg/kg TS und liegt somit weit unter dem Grenzwert von 150 µg/kg in fertigen Papieren. Gemessen an der allgemeinen Ergebnislage (33 µg/kg TS im Methanolextrakt und 13 µg/kg TS im KWE), wurden vereinzelt höhere Werte festgestellt. Eine Ursache wird darin gesehen, dass durch Warenimporte oder direkte Importe von Altpapier aus dem Ausland mit PCP belastete Papiere und Pappen in den deutschen Altpapierkreislauf gelangen können.

Di-isopropylnaphthalin (DIPN)

In der Empfehlung XXXVI des BfR findet sich das Minimierungsgebot für DIPN in Lebensmittel-Kontaktpapieren, das vor allem dem Vorsorgegedanken Rechnung trägt. Der Arbeitskreis lebensmittelchemischer Sachverständiger hält einen Gehalt von weniger als 100 mg/kg für technisch möglich und sinnvoll. Dieser Wert wird in den heute in Deutschland produzierten Lebensmittel-Kartons und anderen Lebensmittel-Kontaktpapieren auch bei 100 % Altpapier-Einsatz sicher eingehalten.

In diesem Forschungsprojekt wurden die verschiedenen Altpapiersorten auf ihren Gehalt an DIPN untersucht. In allen untersuchten Altpapiersorten liegt der Gehalt an DIPN weit unterhalb von 50 mg/kg. Die DIPN-Gehalte der Altpapiersorten 1.11, 1.02 und 1.04 liegen zwischen 20-25 mg/kg. Der maximale Gehalt an DIPN der Altpapiersorte 4.03 beträgt sogar nur 17 mg/kg.

PaperBaleSensor (PBS)

Der PBS der Papiertechnischen Stiftung ist ein Messgerät, das den nahen Infrarotbereich (NIR) zur Prüfung nutzt. Das Messgerät wurde für Parallelmessungen des Feuchtigkeits- und Aschegehalts sowie des Kunststoff-, Faser- und Holzstoffanteils im Vergleich zu den gravimetrischen Bestimmungen an den Bohrkernen eingesetzt. Der PBS ermöglicht durch NIR-Messungen im Inneren von Altpapierballen unmittelbar Angaben zu den genannten Parametern. Grundsätzlich ist das PBS-Messgerät für eine schnelle Bestimmung der aufgeführten Parameter geeignet, sofern die Messgenauigkeit ausreichend und etwaige Einschränkungen bekannt sind.

Unter Einbezug der Standardabweichung sind die mit dem PBS ermittelten Durchschnittswerte der jeweiligen Altpapiersorte trotz unterschiedlicher Verfahren durchaus mit den Ergebnissen dieser Untersuchung vergleichbar. Der PBS stellt ein wichtiges Instrument zur

Altpapierqualitätskontrolle dar. Dadurch können mangelhafte Altpapierlieferungen erkannt werden und somit Produktionskosten durch minderwertige Altpapierqualitäten vermieden werden.

Das Messgerät ist nur für die Kontrolle von Altpapierballen anwendbar.

Feuchtigkeitsmessung mittels AP 500 M

An allen untersuchten Altpapierballen wurden Messungen zum Feuchtigkeitsgehalt mit dem PaperBaleSensor (PBS) und dem AP 500 M der Firma EMCO sowie mittels gravimetrischer Messung im PMV-Labor (an Teilproben der mittels PMV-Kernbohrer entnommenen Proben) durchgeführt.

Das Feuchtigkeitsmessgerät der Fa. EMCO arbeitet nach dem Dielektrizitätsprinzip und gestattet eine schnelle Ermittlung des Feuchtigkeitsgehalts eines Altpapierballens. Der mit dem AP 500 M gemessene Feuchtigkeitsgehalt resultiert aus Messungen an der Oberfläche bis in 300 mm Tiefe eines Ballens. Meist sind Altpapierballen an den ungeschützten Oberflächen feucht oder sogar nass während sie im Inneren des Ballens völlig trocken sein können. Das Messergebnis kann dadurch von denen der beiden anderen Verfahren abweichen, da bei diesen nicht nur die Oberfläche sondern die gesamte Tiefe des zu beprobenden Altpapierballens erfasst wird.

Die aus den Messungen mit allen drei Verfahren resultierenden Durchschnittswerte liegen für alle Altpapiersorten im Bereich der Standardabweichung und weisen keine signifikanten Unterschiede auf. Somit sind die mit dem AP 500 M gemessenen Feuchtigkeitsgehalte für die jeweilige Altpapiersorte mit denen der PBS-Messung und der gravimetrischen Messung im Labor vergleichbar. Der mittels unterschiedlicher Messverfahren gemessene Feuchtigkeitsgehalt liegt für die jeweilige untersuchte Altpapiersorte ebenfalls im Bereich des 10 % Limits der DIN EN 643.

Das Messgerät ist allerdings nur für die Feuchtigkeits-Kontrolle von Altpapierballen anwendbar.

Untersuchungen in Altpapier-Sortierbetrieben

Eingangsmaterial

Im Durchschnitt waren bereits im eingehenden, zu sortierenden Altpapier aus haushaltsnaher Erfassung bzw. im Eingangsmaterial der untersuchten Altpapier-Sortierbetriebe knapp 80 % an grafischen Papieren enthalten. Einen weiteren Großteil machte der Anteil an Verpackungspapieren und Karton aus. Ungeeignete bzw. sonstige Papiere und Pappen sowie papierfremde Stoffe lagen eher in untergeordneten Anteilen vor.

Durch die Einbeziehung der Materialherkunft (städtische oder ländliche Gebiete) konnte gezeigt werden, dass in den Eingangsmaterialien aus ländlichen Gebieten im Vergleich zu denen aus städtischen Gebieten ein etwas geringerer Anteil an Zeitungen enthalten ist. Dementsprechend ist der Anteil an Illustrierten im Eingangsmaterial aus ländlichen Gebieten etwas höher als aus städtischen Gebieten. Das Eingangsmaterial aus städtischen Gebieten enthält wesentlich mehr papierfremde Stoffe als aus ländlichen Gebieten.

Deinkingware (1.11)

In Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad wies die in Altpapier-Sortierbetrieben untersuchte Deinkingware in ihrer Zusammensetzung keine signifikanten Unterschiede auf. Vielmehr liegen die gezeigten Schwankungen eher in der Variabilität des Eingangsmaterials. Ein wesentlicher Unterschied lag vielmehr im Durchsatz der jeweiligen Anlage. Grundsätzlich sind die Ergebnisse aus den Anlagen in denen überwiegend manuell sortiert wurde weder besser noch schlechter als in den Anlagen in denen die Sortierung überwiegend durch optische Sortiergeräte erfolgte. Dies wurde ebenfalls durch die Analyse weiterer Qualitätsparameter und durch das Deinkingergebnis bestätigt. Der enthaltene Anteil an papierfremden Stoffen liegt durchschnittlich unterhalb von 0,5 % Prozent.

Sortiertes, gemischtes Altpapier (1.02)

Die in Altpapier-Sortierbetrieben generierte Altpapiersorte 1.02 unterlag mehreren Einflüssen im Bezug auf ihre Zusammensetzung. Zum einen hatten die verschiedenen Anlagen unterschiedliche Siebweiten zur Feinsortierung und zum anderen wurden in einigen untersuchten Anlagen die Feianteile mit dem Mischpapier (1.02) zusammen geführt. Daraus folgte ein höherer Anteil an sonstigen Papieren in der Altpapiersorte 1.02 aus den Anlagen in denen kein separater Austrag der Feianteile stattfindet. Die Proben der Anlagen, die überwiegend auf manuelle/mechanische Sortierung gestützt sind, wiesen einen Anteil an grafischen Papieren von ca. 60 % auf. Die Proben die größtenteils auf einer sensorgestützten Sortierung generiert wurden, wiesen einen grafischen Papieranteil von 40 % bis maximal 50 % auf. Aufgrund des höheren Anteils an grafischen Papieren in den manuell sortierenden Anlagen fallen die Anteile an Verpackungspapier und Karton in diesen niedriger aus als in den Proben aus den Anlagen mit sensorgestützter Sortierung. Daraus lässt sich ableiten, dass in einer sensorgestützten Anlage die Möglichkeit besteht, die Ausbeute im Deinkingmaterial zu erhöhen. Indem der grafische Anteil im Mischpapier (1.02) reduziert wird. Im Durchschnitt beträgt der Anteil an papierfremden Stoffen im Mischpapier rund ein Prozent.

Kaufhausaltpapier (1.04)

Die in den Altpapier-Sortierbetrieben untersuchte Altpapiersorte 1.04 unterlag größeren Abweichungen. Dabei unterscheiden sich die Anteile an Verpackungspapier und Karton um bis zu 20 %. Obwohl zur Grobsortierung in allen Anlagen (mit einer Ausnahme) die gleichen Siebweiten gelten. Mit Ausnahme von einer Anlage ist der Anteil an Verpackungspapier und Karton in den Anlagen mit sensorgestützter Sortierung wesentlich höher. Der durchschnittliche Anteil an papierfremden Stoffen im Kaufhausaltpapier der untersuchten Altpapier-Sortieranlagen ist kleiner ein Prozent.

Qualitätsvergleich von Altpapier in den Sortierbetrieben und in Papierfabriken

Deinkingware (1.11)

Im Vergleich zu den Proben aus Papierfabriken (lose und Ballenware) gab es nur einige Unterschiede zwischen den untersuchten Qualitätsparametern der Deinkingware. Ein wesentlicher Unterschied lag hier im Feuchtigkeitsgehalt. Die untersuchten Proben in Altpapier-Sortierbetrieben wiesen einen niedrigeren Feuchtigkeitsgehalt auf als die in den Papierfabriken untersuchte lose Ware. Dies wird vermutlich durch die ungeschützte Lagerung der generierten Altpapiersorte im Freien (ohne Überdachung bzw. in offenen Rollcontainern o. ä.) oder durch den Transport in Kippladern (ohne Plane) hervorgerufen. Des Weiteren war der Anteil an Verpackungspapieren und Karton in der 1.11er Ballenware aus Papierfabriken etwas niedriger als in der losen Ware aus Papierfabriken und aus Altpapier-Sortierbetrieben. Im Gegensatz dazu war der Anteil an papierfremden Stoffen in der 1.11er Ballenware wesentlich höher als in den Proben aus Papierfabriken und aus Altpapier-Sortierbetrieben in loser Lieferform.

Sortiertes, gemischtes Altpapier 1.02

Die Summe an grafischen Papieren der Altpapiersorte 1.02 aus den Altpapier-Sortierbetrieben war etwas niedriger als in den Papierfabriken, dafür war der Anteil an Verpackungspapier und Karton der einzelnen Proben in den Altpapier-Sortierbetrieben etwas höher. Der Anteil an papierfremden Stoffen war in den zu Ballen verpressten Proben aus Papierfabriken um ein dreifaches höher als in den Proben in loser Form aus den Altpapier-Sortierbetrieben.

Kaufhausaltpapier (1.04)

Beim Vergleich der Proben aus Altpapier-Sortierbetrieben und Papierfabriken unterschied sich die Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.04 im grafischen Papieranteil und dem Anteil an papierfremden Stoffen. Die Proben aus den Papierfabriken hatten einen höheren Anteil an Illustrierten und sonstigen grafischen Papieren als die der Altpapier-Sortierbetriebe. Analog zu den Altpapiersorten 1.11 und 1.02 war der Anteil an papierfremden Stoffen in Ballenware aus Papierfabriken im Gegensatz zu den Proben aus Altpapier-Sortierbetrieben mehr als doppelt so hoch.

Sortenübergreifend

Bei der Betrachtung der enthaltenen Anteile an papierfremden Stoffen fiel auf, dass die Anteile in den zu Ballen verpressten Proben aus Papierfabriken in allen untersuchten Altpapiersorten mehr als doppelt so hoch waren als in den Proben der losen Ware aus Papierfabriken und aus Altpapier-Sortierbetrieben. Grundsätzlich sollte Altpapier frei von papierfremden Stoffen geliefert werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung.....	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Stand der bisherigen Forschung	5
1.3	Altpapiersorten	6
1.4	Altpapierqualitätskontrolle.....	9
1.5	Altpapiersortierung.....	11
2	Forschungsziel, Lösungsweg und Untersuchungsmethoden	13
2.1	Forschungsziel.....	13
2.1.1	Angestrebte Forschungsergebnisse	15
2.1.2	Innovativer Beitrag der Forschungsergebnisse	15
2.2	Lösungsweg.....	16
2.3	Untersuchte Altpapiersorten.....	17
2.4	Probenahme	19
2.5	Untersuchungsmethoden	22
2.5.1	Feuchtigkeitsgehalt.....	22
2.5.2	Zusammensetzung des Altpapiers	23
2.5.3	Suspensionseigenschaften	25
2.5.4	Optische Eigenschaften	26
2.5.5	Festigkeitseigenschaften.....	26
2.5.6	Chemische Inhaltsstoffe	27
2.6	Versuchsdurchführung	29
3	Ergebnisse der in Papierfabriken untersuchten Altpapiersorten.....	34
3.1	Feuchtigkeitsgehalt.....	34
3.2	Zusammensetzung	35
3.2.1	Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.11	35
3.2.2	Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.02.....	41
3.2.3	Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.04.....	45
3.2.4	Zusammensetzung der Altpapiersorte 4.03	47
3.2.5	Zusammensetzung aller untersuchten Sorten.....	48
3.3	Suspensionseigenschaften	51
3.3.1	Aschegehalt	51
3.3.2	Entwässerungsverhalten	54
3.3.3	Wasserrückhaltevermögen	56

3.3.4 Faserfraktionierung	57
3.3.5 Makro-Stickygehalt.....	59
3.3.6 Schmutzpunkte	61
3.4 Optische Eigenschaften	62
3.4.1 Weißgrad (R_{457}).....	63
3.4.2 Hellbezugswert (Y), L^* -, a^* -, b^* -Werte und ERIC	65
3.5 Festigkeitseigenschaften.....	67
3.5.1 Zugfestigkeit (Reißlänge), Weiterreißarbeit und Berstfestigkeit	67
3.5.2 Ring-, Streifen- und Flachstauchwiderstand	70
3.6 Chemische Inhaltstoffe.....	72
3.6.1 Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	73
3.6.2 Organische Halogenverbindungen (OX).....	74
3.6.3 Pentachlorphenol (PCP)	75
3.6.4 Di-isopropylnaphthalin (DIPN).....	77
3.6.5 Phthalate	78
4 Ergebnisse der Messungen mit dem PaperBaleSensor und dem AP 500 M	81
4.1 Feuchtigkeitsgehalt.....	81
4.2 Kunststoffanteil	82
4.3 Aschegehalt	84
5 Ergebnisse der in Altpapier-Sortierbetrieben untersuchten Altpapiersorten	87
5.1 Zusammensetzung aller Altpapiersorten in Altpapier-Sortierbetrieben.....	88
6 Ergebnisvergleich zwischen der in Papierfabriken und in Altpapier-Sortierbetrieben untersuchten Altpapiersorten.....	93
7 Veröffentlichungen und Vorträge.....	97
7.1 Veröffentlichungen.....	97
7.2 Vorträge auf Konferenzen.....	97
8 Danksagung	99
9 Literaturverzeichnis	100
10 Anhang.....	103
10.1 Qualitätsparameter der untersuchten Altpapiersorten	103
10.2 Anlagenpläne der untersuchten Altpapier-Sortierbetriebe	109

Verwendete Abkürzungen

a*	Farbmaßzahl im CIE – System, grün (-) – rot (+)
AGRAPA	Arbeitsgemeinschaft grafischer Papiere
AiF	Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen
AP	Altpapier
APV	Akademischer Papieringenieurverein
Asche	Aschegehalt
B	Ballenware
b*	Farbmaßzahl im CIE – System, gelb (-) – blau (+)
BDE	Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft
B.I.R	Bureau of International Recycling
BVSE	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung
CEPI	Confederation of European Paper Industries
CITPA	International Confederation of Paper and Board Converters in Europe
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow und Black
CMT	Flachstauchwiderstand (Concora Medium Test)
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CTP	Centre Technique du Papier
D 200	Durchgang 200er Sieb, Haindl-McNett
DIPN	Di-isopropylnaphthalin
DS	Deinkter Stoff
ENPA	European Newspapers Publishers Association
ERIC	Effective Residual Ink Concentration
ERPA	European Recovered Paper Association
ETS	European Tissue Symposium
EuPIA	European Printing Ink Association
EWV	Entwässerungsverhalten
FAEP	European Federation of Magazine Publishers
Fei	Faserfeinstoff

FEICA	Association of European Adhesives Manufacturers
FINAT	Worldwide Association for Self-Adhesive Labels and Related Products
Fk	Faserkurzstoff
Fl	Faserlangstoff
GC	Gaschromatograph
GesPaRec	Gesellschaft für Papierrecycling mbH
GP	Grafische Papiere
INGEDE	International Association of the Deinking Industry
Intecus	Ingenieurgesellschaft für Technischen Umweltschutz mbH
INTERGRAF	International Confederation for Printing and Allied Industries
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
L	Lose Ware
L*	Farbmaßzahl im CIE – System, Helligkeit
m _A	Flächenbezogene Masse
MS	Massenspektrometer
MW	Mittelwert
NIR	Nah-Infrarot
OX	Organische Halogenverbindungen
PBS	PaperBaleSensor
PCP	Pentachlorphenol
PFS	Papierfremde Stoffe
PMV	Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik an der Technischen Universität Darmstadt
PTS	Papiertechnische Stiftung
R 30	Rückstand 30er Sieb, Haindl-McNett
R 50	Rückstand 50er Sieb, Haindl-McNett
R 100	Rückstand 100er Sieb, Haindl-McNett
R 200	Rückstand 200er Sieb, Haindl-McNett
R ₄₅₇	Weißgrad

RADTECH Europe	European Association for the Promotion of UV and EB Curing
RCT	Ringstauchwiderstand (ring crush test)
RL	Reißlänge
SCT	Streifenstauchwiderstand (short-span compression strength)
SMZpkt	Schmutzpunkte
Sp150/Stp	Splittergehalt/Stippengehalt
SR-Wert	Schopper Riegler Wert
Stickys	Makro-Stickygehalt
TIB	Technische Informationsbibliothek
TS	Trockensubstanz
TU	Technische Universität
US	Undeinkter Stoff
U/SPP	Ungeeignete/sonstige Papiere und Pappen
ZM	Verein ZELLCHEMING e.V./ Verein der Zellstoff- und Papier- Chemiker und -Ingenieure
VDP	Verbandes Deutscher Papierfabriken e. V.
VPK	Verpackungspapiere und Karton
WRA	Weiterreißarbeit
WRV	Wasserrückhaltevermögen
Y	Hellbezugswert

1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

1.1 Ausgangssituation

Recycling kann nur funktionieren, wenn gesammelte Wertstoffe unter wirtschaftlichen Bedingungen auf umweltverträgliche Art und Weise zu marktfähigen Produkten verarbeitet werden können. Dieses Prinzip betrifft die deutsche Papierindustrie in besonderem Maße, denn in den Jahren 2007-2009 wurden im Mittel jährlich rund 15,3 Mio. Tonnen Altpapier zur Herstellung von 22,3 Mio. Tonnen Papier in deutschen Papierfabriken eingesetzt [1, 2, 3]. Vom eingesetzten Altpapier gehörten rund 78 % in die Kategorie der so genannten „Unteren Sorten“. Die Altpapier-Einsatzquote ist in den letzten Jahren stetig gestiegen und lag im Mittel über die Jahre 2007-2009 auf einer neuen Rekordmarke von 69 %. Die Vergleichswerte lagen 1995 bei 58 % und 1985 bei nur 46 %. Damit nimmt Altpapier die führende Position als Faserrohstoff (Sekundärfaserrohstoff) der deutschen Papierindustrie ein. Bezogen auf den gesamten Faserstoffeinsatz der deutschen Papierindustrie trägt Altpapier heute mit 68 % zur nationalen Rohstoffversorgung bei, wobei die Sammlung von Altpapier mit einer Erfassungsquote, auch Rücklaufquote genannt, von 79 % in Europa eine Spitzenstellung einnimmt. Die erfasste Altpapiermenge liegt rund 700.000 Tonnen über der Einsatzmenge, was bezogen auf den Altpapierverbrauch 5 % entspricht. Das bedeutet, dass Deutschland immer noch ein Altpapier-Nettoexportland ist, da die Altpapiererfassung sehr intensiv betrieben wird. Dennoch sind die Altpapier-Nettoexporte in den vergangenen Jahren seit 2000 (max. Nettoexport 2,7 Mio. Tonnen Altpapier) gesunken, da durch die Installation neuer Papiermaschinen auf Altpapierbasis und Kapazitätserweiterungen bestehender Anlagen ein signifikanter nationaler Altpapiermehrbedarf entstanden ist.

Die Gründe für diese im internationalen Vergleich sehr hohe Altpapier-Einsatzquote sind vielschichtig. Einerseits tragen die hohe Bevölkerungsdichte Deutschlands, die allgemeine positive Einstellung der Verbraucher in Bezug auf die Wiederverwertung von Wertstoffen und das positive Image von Recyclingprodukten zum gesteigerten Absatz von Recyclingpapiersorten bei. Andererseits hat der Gesetzgeber sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene Rahmenbedingungen für einen zunehmenden Altpapiereinsatz geschaffen. So wurde im Rahmen des Abfallgesetzes bereits 1991 die Verpackungsverordnung in Kraft gesetzt, die die Erfassungs-, Sortier- und Verwertungsquoten für Verkaufspackungen aus Papier, Karton und Pappe vorschrieb und 1994 durch die europäische Packaging Directive 94/62EG unterstützt wurde. Beide Verordnungen wurden novelliert; 1998 die deutsche Verpackungsverordnung und 2001 die europäische Packaging Directive.

Um einer gesetzlichen Verordnung für die Rücknahme und Verwertung grafischer Papiere zuvorzukommen hatte die grafische Papierkette mit der AGRAPA (= Arbeitsgemeinschaft grafischer Papiere) im Jahre 1994 eine Selbstverpflichtung gegenüber der Bundesregierung mit dem Ziel abgegeben, die Verwertungsquote von grafischem Altpapier von 53 % in 1994 bis auf 60 % im Jahr 2000 zu steigern. Diese politischen Zielstellungen führten zu einer deutlichen Steigerung der Altpapier-Erfassungsquote, was nur über eine Ausweitung der traditionellen Altpapier-Erfassungssysteme möglich war. Das vereinbarte Ziel wurde mit 81 % in 2000 weit übertroffen und die freiwillige Selbstverpflichtung in 2001 mit einem Zielkorridor von 80 % \pm 3 % auf unbestimmte Zeit weiter fortgeschrieben [4].

Während sich diese freiwillige Selbstverpflichtung in Deutschland ausschließlich auf die Verwertung grafischer Altpapiere konzentrierte, hatten auf europäischer Ebene die CEPI

(Confederation of European Paper Industries) und die ERPA (European Recovered Paper Association) 2000 eine Erklärung zur Wiederverwertung von Papier gegenüber der Europäischen Union abgegeben [5]. Darin wurde zugesagt, die Recyclingquote von 48,7 % im Jahr 1999 auf 56 % bis 2005 zu steigern, was einem Altpapiermehrverbrauch von 10 Mio. Tonnen in Europa entsprach. Die Verpflichtung der CEPI bezog sich auf eine andere Quotenberechnung als die der AGRAPPA und zwar auf den prozentualen Anteil des jährlichen Altpapier-einsatzes bezogen auf den jährlichen Papierverbrauch in den CEPI-Ländern (= Westeuropa plus Tschechische Republik, Slowakische Republik und Ungarn). Diese Quote umfasste allerdings alle Papierproduktkategorien und bezog sich nicht nur auf gebrauchte grafische Papiere wie in Deutschland. Das von der CEPI vorgegebene Ziel wurde mit 55,4 % in 2005 unter Berücksichtigung des Zielkorridors von $\pm 1,5$ % ebenfalls erreicht [6]. Im September 2006 hat die CEPI gemeinsam mit fünf weiteren unterzeichnenden Organisationen:

- CITPA (International Confederation of Paper and Board Converters in Europe),
- ERPA (European Recovered Paper Association),
- ETS (European Tissue Symposium),
- INGEDE (International Association of the Deinking Industry) und
- INTERGRAF (International Confederation for Printing and Allied Industries)

sowie den sechs unterstützenden Organisationen:

- ENPA (European Newspapers Publishers Association),
- EuPIA (European Printing Ink Association),
- FAEP (European Federation of Magazine Publishers)
- FEICA (Association of European Adhesives Manufacturers),
- FINAT (Worldwide Association for Self-Adhesive Labels and Related Products) und
- RADTECH Europe (European Association for the Promotion of UV and EB Curing)

die neuen und weiterführenden Zielvereinbarungen als freiwillige Selbstverpflichtung der Papierkette veröffentlicht [7]. Diese neue Verpflichtung optimiert das Altpapiermanagement entlang der Wertschöpfungskette der Papier- und Kartonherstellung, der Verarbeitung und dem Drucken sowie der Erfassung und Sortierung von Altpapier mit dem erforderlichen Transportbedarf. Die neue Selbstverpflichtung geht von einer Recyclingquote von 66 % in 2010 aus, wobei bei der Berechnung der Quote erstmals der EU-Außenhandel mit Altpapier berücksichtigt wird. Im Vergleich zur alten Selbstverpflichtung wird nicht nur eine höhere Recyclingquote zu erzielen sein, sondern betrifft die neue Selbstverpflichtung insgesamt mehr europäische Nationen, eine größere Anzahl an Organisationen und umfasst eine höheres Altpapiermengenaufkommen. Außerdem beinhaltet die neue Selbstverpflichtung nicht nur quantitative Ziele, sondern formuliert erstmals auch qualitative Ziele. Dazu gehören u. a.:

- die Favorisierung der separaten Erfassung von Altpapier,
- die Förderung von Konzepten zur Verbesserung der Rezyklierbarkeit von Papierprodukten,
- die Veröffentlichung von Richtlinien und Methoden zur Prüfung der Rezyklierbarkeit,

- der Entwicklung von Druckfarben und Klebstoffen, die den Recyclingprozess nicht beeinträchtigen,
- die Förderung von Forschung und Entwicklung mit dem Ziel der Verbesserung der Rezyklierbarkeit von Papierprodukten.

In Zukunft ist aus ökologischen, gesetzgeberischen und internationalen Gründen mit einem noch stärker geschlossenen Papierkreislauf in Deutschland zu rechnen. Eine nennenswerte Steigerung der Altpapier-Einsatzquote ist in Deutschland nicht mehr zu erwarten. Allerdings werden die eingesetzten Altpapiermengen im Rahmen von Produktionssteigerungen weiter zunehmen und auch die Verwendung von Altpapier in hochwertigen grafischen Papieren (z. B. SC- und LWC-Papieren) wird steigen. Gravierender wird die Tatsache werden, dass auf Grund der europäischen Verpflichtung der CEPI, alle Länder mit noch ausbaufähiger Altpapiererfassung ihre Sammelaktivitäten verstärken müssen und werden, um die zukünftigen Ziele zu erreichen. Dies bedeutet aber, dass auch die Altpapier-Einsatzquoten in diesen Ländern steigen werden und das aus diesen Ländern nach Deutschland importierte Papiere zukünftig höhere Sekundärfaser- und geringere Frischfaseranteile enthalten wird. Insgesamt werden die Fasern in Deutschland und in Europa dadurch häufiger rezykliert werden, als es bisher der Fall ist. Eine entsprechende Altpapiersortierung und Altpapieraufbereitung muss dieser Entwicklung Rechnung tragen. Zusätzlich ist außerdem zu erwarten, dass mit der europaweit zunehmenden, flächendeckenden Altpapiererfassung der Anteil der mit dem Altpapier erfassten papierfremden Bestandteile und der unerwünschten Papiere und Pappen zunehmen wird und damit die Altpapiersortieranlagen vor größeren Herausforderungen stehen werden, um die gewünschte Altpapierqualität sicherzustellen.

Die Sicherung der Rohstoffquantität ist mit einem Altpapieraufkommen von 15,1 Mio. Tonnen (2005) in Deutschland gegeben. Dies wird durch eine flächendeckende Altpapiererfassung ermöglicht, wobei grundsätzlich zwischen folgenden Erfassungsarten unterschieden wird:

- Altpapier aus Haushalten und haushaltsähnlichen Gewerbegebieten (Post-Consumer Waste),
- Altpapier aus Industrie- und Gewerbebetrieben (Post-Consumer Waste) und
- Remittenden sowie Altpapier aus der Verarbeitung (Pre-Consumer Waste).

Die flächendeckendere Altpapiererfassung hat sich in Deutschland bei der Post-Consumer-Erfassung bereits in einer sinkenden Altpapierqualität, in Form der Zunahme von unerwünschten Stoffen im Altpapier, bemerkbar gemacht. Aber nicht nur die intensivere Altpapiererfassung, sondern auch die unterschiedlichen Sammelsysteme von Stadt- bzw. Landkreisen, die durch die Güte der nachgeschalteten Altpapiersortieranlagen überlagert werden, beeinflussen die Wiederverwertbarkeit von Altpapier. Die europäische Altpapier-Standardsortenliste (EN 643) des CEN (Comité Européen de Normalisation) unterscheidet insgesamt 67 Einzelsorten (57 Sorten mit 10 Untersorten), die in fünf Gruppen (Untere Sorten, Mittlere Sorten, Bessere Sorten, Krafthaltige Sorten und Sondersorten) eingeordnet werden.

Im Gegensatz zu den unterschiedlichen Zellstoff- und Holzstoffsorten (Primärfaserstoffe) sind die tatsächlichen Qualitätseigenschaften (Zusammensetzung, optische, mechanische und chemische Eigenschaften) der in Deutschland verwendeten und Europa gehandelten 67 Altpapiersorten nur unzureichend bekannt und in der Sortenliste kaum definiert. Das aus früheren Untersuchungen stammende Wissen bezüglich der Zusammensetzung der Altpapiersorten ist veraltet. Vor dem Hintergrund sich etablierender automatischer und halbautomatischer Altpapier-Sortieranlagen ist die Frage zu stellen, welche Veränderungen sich dadurch in Zusammensetzung und Qualität der erzeugten Altpapiersorten einstellen [8]. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass seit der letzten Erhebung im Jahr 1999:

- neue Parameter an Bedeutung gewonnen haben,
- neue Papiersorten verstärkt in den Altpapierkreislauf gelangen, die kritische Inhaltsstoffe enthalten können (z. B. Thermopapiere, Selbstdurchschreibepapiere),
- die Aufbereitungs- und Papierveredelungstechnologien weiterentwickelt wurden,
- der Recyclingkreislauf durch Erhöhung der Altpapier-Einsatzquote in Deutschland und in Europa weiter geschlossen wurde,
- das mittlere Faseralter insbesondere durch sinkende Netto-Altpapierexportmengen aus Deutschland nach Europa und Asien gestiegen ist und
- die politischen Rahmenbedingungen eine Intensivierung des Recyclings vorsehen.

Durch diese Maßnahmen haben sich gravierende Änderungen bei den traditionellen Altpapiererfassungssystemen, den gesammelten Mengen und der Sortiertechnik des Altpapiers ergeben, was sich in Qualitätsveränderungen der gehandelten Altpapiersorten niederschlägt. So ist z. B. aus Beobachtungen von Papierfabriken bekannt, dass im gemischten Altpapier der Anteil anorganischer Bestandteile (Asche) durch höhere Füllstoffeinträge und das überproportionale Mengenwachstum gestrichener Papiere und Kartons gestiegen ist. Da diese anorganischen Bestandteile nichts zur Festigkeit von Papier beitragen, reduzieren Sie das Festigkeitspotenzial von Altpapier oder tragen zu Ausbeuteminderungen der Aufbereitungsprozesse bei.

Als wichtigster Faserrohstoff der Papierherstellung in Deutschland hat Altpapier natürlich auch eine enorme wirtschaftliche Bedeutung für die Papierindustrie. Eine Erhöhung des Fremdstoffanteils im Altpapier um 1 %-Punkt entspricht bei der derzeit verwerteten Altpapiermenge einer Masse von 144.000 Tonnen pro Jahr. Bei einem durchschnittlichen Altpapierpreis von €65.- pro Tonne und durchschnittlichen Entsorgungskosten von €120.- pro Tonne entsteht der deutschen Papierindustrie damit ein jährlicher wirtschaftlicher Schaden von mindestens 26,6 Mio. € durch eingekauftes, aber nicht nutzbares Fasermaterial und zusätzliche Entsorgungskosten für die abzutrennenden Fremdstoffe. In dieser Summe sind noch keine Anteile durch vorzeitigen Maschinenverschleiß, erhöhten Wartungsaufwand oder geringerer Produktionseffektivität enthalten.

1.2 Stand der bisherigen Forschung

Obwohl der Rohstoff Altpapier den mit Abstand wichtigsten Anteil der Faserstoffe für die Papierherstellung in Deutschland liefert, sind seine Qualitätseigenschaften nur unzureichend untersucht und bekannt. Dies ist vor allem auf seinen inhomogenen Charakter zurückzuführen, der sich zum einen aus der Heterogenität der Papier-, Karton- und Pappensorten selbst und zum anderen aus der Mischung der weit über 3.000 Papier-, Karton- und Pappensorten ergibt. **Abb. 1** gibt ein stark vereinfachtes Schema des Recyclingkreislaufs von Papier- und Kartonprodukten wieder. Dabei werden rezyklierte Papiererzeugnisse, die zu keinem Papierverbraucher gelangen, als Pre-Consumer Altpapier eingestuft, während die beim Endverbraucher erfassten Altpapiere als Post-Consumer Altpapier bezeichnet werden.

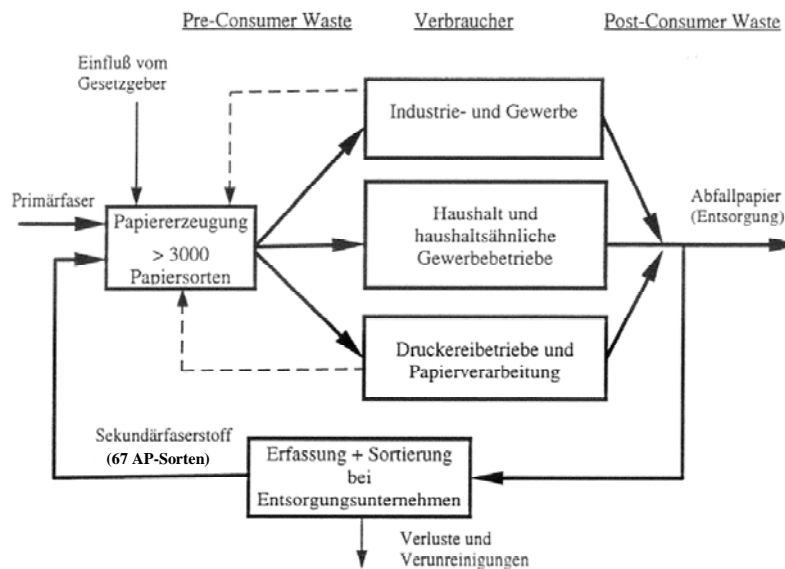


Abb. 1: Recyclingkreislauf von Papier und Pappe

Die Altpapierqualität wird aber auch durch den Import von Altpapier, durch die Erfassungs- und Sortiersysteme von Entsorgungsunternehmen und – damit gekoppelt – von den Erfassungs- und Sortiergewohnheiten der Verbraucher bestimmt. Die Altpapierqualität unterliegt folglich einem komplizierten dynamischen Prozess, der – will man ihn ganzheitlich erfassen – eine kontinuierliche Messung von Qualitätseigenschaften voraussetzt. Eine Online-Erfassung der Altpapierqualität ist mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln nicht möglich. Deshalb ist man gezwungen, auf Modellprozesse und / oder Stichproben (Momentaufnahmen) auszuweichen. Erste Dokumente von der GesPaRec (Gesellschaft für Papierrecycling mbH) [9] aus Deutschland und von der CEPI [10, 11] geben Handlungshinweise zur Einführung einer Kontrolle für Altpapierlieferungen, wobei nur die einfachsten Parameter aufgeführt sind (Ballenverdrahtung, Feuchtigkeit, papierfremde Stoffe) und keine einheitliche Messtechnik empfohlen wird.

1.3 Altpapiersorten

Stichprobenartige Untersuchungen an Altpapiersorten wurden in Deutschland erstmalig Anfang der 80er Jahre von Phan-Tri und Götttsching [12, 13] vorgenommen. Kernelement der damaligen Untersuchungen war die Entwicklung eines Kernbohrersystems zur repräsentativen Probenentnahme aus Altpapierballen und des Aufbaus eines Prüfprozederes zur Bewertung der Altpapierqualität [14, 15]. Sieben Altpapiersorten (B 12, B 19, E 12, O 14, R 12, W 52, W 62 nach der damals üblichen Nomenklatur, entsprechend heute: 1.02, 1.04, 2.01, 2.03.01, 3.18.01, 4.03, 4.02) wurden auf einige physikalische, chemische und mikrobiologische Eigenschaften untersucht. Die physikalischen Eigenschaften umfassten:

- beim Altpapier: Trockengehalt, Papiersortenzusammensetzung, Unrat und Verunreinigungen,
- bei den erzeugten Suspensionen: Schopper-Riegler-Wert, Stippengehalt, Aschegehalt, Faserfraktionen und
- bei den gebildeten Laborblättern: Weiterreißarbeit, Reißlänge, Berstfestigkeit.

Die chemischen Analysen der Filtrate und Rückstände bezogen sich auf Anionen-, Kationen- und CSB-Bestimmungen; die mikrobiologische Analyse beschränkte sich auf die Keimzahl. Während sich bei den einzelnen Altpapiersorten signifikante Unterschiede bezüglich Suspensions- und Blatteigenschaften feststellen ließen, konnten bei den chemischen Eigenschaften nur geringfügige Unterschiede ermittelt werden.

Die Untersuchungen mit dem PMV-Kernbohrersystem wurden Mitte der 90er Jahre an ausgewählten Altpapiersorten im Rahmen von mehreren Diplomarbeiten [16, 17, 18, 19] erneut durchgeführt und auf dem APV-Jahrestreffen 1995 publiziert [20]. Die damals am Institut für Papierfabrikation der TU Darmstadt durchgeführten Arbeiten dienten dem Zweck, die im Altpapier eingetretenen stofflichen Veränderungen zu dokumentieren und zu interpretieren.

Weitergehende vertiefende Analysen erfolgten schließlich im Rahmen des AiF-Forschungsprojekts 11420 „Zusammensetzung und Qualität von Altpapier in Abhängigkeit der regionalen und saisonalen Erfassung“ [21]. In diesem Projekt wurden im Zeitraum zwischen 1998 und 2000 die Qualitätseigenschaften des Altpapiers mit regionalen Unterschieden und saisonalen Schwankungen bei der Altpapiererfassung korreliert [22]. Mit diesem Projekt wurden letztmals Veränderungen der Altpapierqualitätseigenschaften ermittelt und mit zurückliegenden Untersuchungen verglichen. Beispielhaft sind in den **Abb. 2 und 3** die Entwicklungen des Festigkeitsparameters CMT (Concora Medium Test) und des Abwasserparameters CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) von verschiedenen Altpapiersorten in den geschilderten Untersuchungszeiträumen dargestellt. Trotz der Zunahme des Recyclings und steigender Aschegehalte im Altpapier ist der für Wellenpapiere relevante Parameter CMT gemäß Abb. 2 nicht gesunken. Für alle Altpapiersorten haben sich zumindest seit 1984 signifikante Festigkeitssteigerungen ergeben, was mit der insgesamt gestiegenen Verwendung von Zellstoff als Primärfaserstoff anstelle von Holzstoff, mit wesentlich geringeren Festigkeitseigenschaften, erklärt wird. Die CSB-Belastung ist dagegen nach Abb. 3 in den betrachteten 1,5 Dekaden für die meisten Altpapiersorten gestiegen. Dies ist auf das verstärkte Recycling mit seiner Generierung an Feinstoffen und leicht löslichen Kohlenhydraten zu erklären und dem Umstand, dass gerade bei der industriellen Herstellung von Wellpappenrohpapieren auf Altpapierbasis durch verstärkten Stärkeinsatz die erforderlichen Festigkeitswerte erzielt werden. Bei der

nachfolgenden Aufbereitung dieses Altpapiers trägt die Stärke dann zur CSB-Belastung bei. Die Kenntnis um die spezifischen CSB-Frachten aus den verschiedenen Altpapiersorten ist bei der Auslegung innerbetrieblicher Kreislaufwasserreinigungsanlagen und Restabwasserreinigungsanlagen von entscheidender Bedeutung.

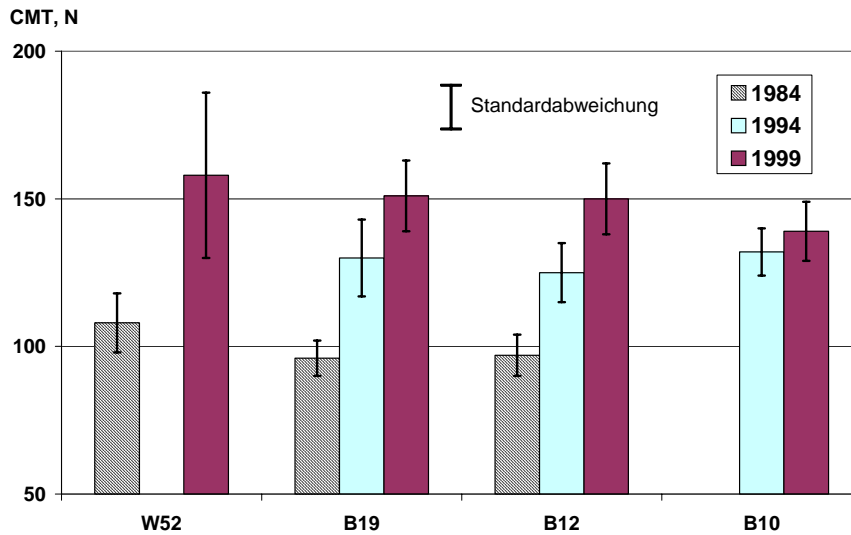


Abb. 2: Entwicklung des CMT-Wertes für „braune“ Altpapiersorten im Betrachtungszeitraum²⁰

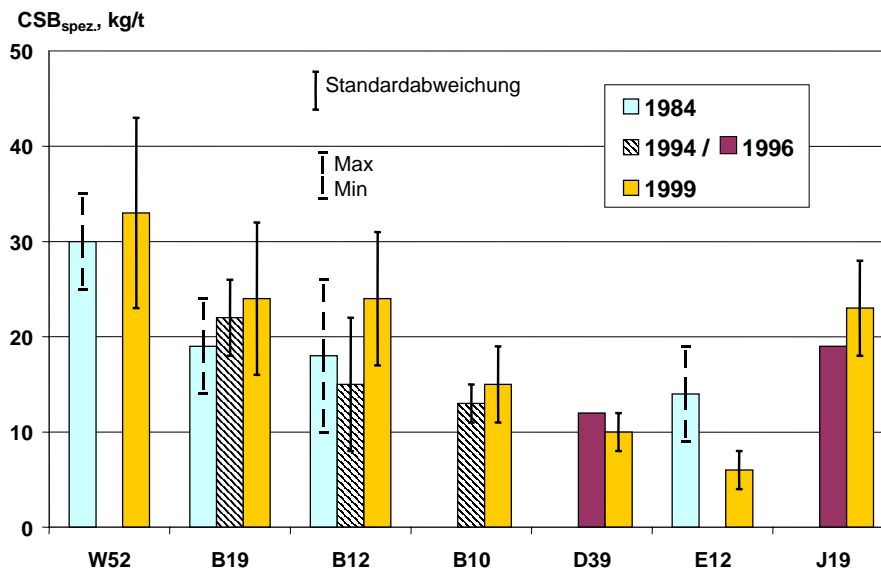


Abb. 3: Entwicklung des spezifischen CSB-Wertes für verschiedene Altpapiersorten im Betrachtungszeitraum²⁰

Untersuchungen zur Qualität von Altpapiersorten in Deutschland sind außer vom IfP / Darmstadt lediglich von der Papiertechnischen Stiftung (PTS) durchgeführt worden. Strunz berichtet über CSB, Faserlängenverteilungen und Festigkeitskenngrößen verschiedener Altpapiersorten in Abhängigkeit von verschiedenen Altpapier-Erfassungssystemen. Auch er erwartet keinen Recyclingkollaps und versucht Empfehlungen für die optimale Verwendung bestimmter Altpapiersorten zur Herstellung neuer Papiere zu geben [23]. Klein berichtet sehr ausführlich über die methodischen Grundlagen der Analyse von Altpapierproben [24]. Sie sind nicht in allen Punkten des Aufbereitungsprozederes mit dem Vorgehen am PMV iden-

tisch, so dass nicht alle Ergebnisse unmittelbar verglichen werden können. Zwar sind die Prüfmethode zur Bestimmung der meisten Parameter genormt, die Probenvorbereitung allerdings nicht. In einem weiteren Beitrag ordnet Strunz die Eigenschaften verschiedener Altpapiersorten den Anforderungen der Papierproduktkategorien Verpackungspapiere, grafische Papiere, Hygienepapier und Spezialpapiere zu [25]. Er kommt zu dem Schluss, dass bestimmte Altpapiersorten für die Herstellung von bestimmten Papieren besonders geeignet sind. Eigenschaftskenngrößen von diversen Altpapiersorten sind ebenfalls im Beitrag von Bär und Hanecker [26] sowie in einem Abschlussbericht eines BMWi-Projekts (Nr. 24/97) [27] zu finden. Durch Behandlungsmaßnahmen des Altpapierfaserstoffs (z. B. Fraktionierung, Mahlung) und Abmischung der behandelten Fraktionen werden die im Altpapierstoff steckenden Potenziale aufgezeigt. Alle präsentierten Ergebnisse sind ohne zeitlichen Bezug und stellen damit immer nur eine Momentaufnahme und keine Bewertung einer zeitlichen Entwicklung dar.

Ein von 1995 bis 1999 im Auftrag der AGRAPA gemeinsam mit Prof. Bilitewski von der Fa. Intecus (Ingenieurgesellschaft für Technischen Umweltschutz mbH) durchgeführtes Forschungsvorhaben hat mit Modellversuchen in verschiedenen Städten und Landkreisen Deutschlands geeignete Erfassungssysteme für eine optimale Bereitstellung von holzhaltiger Deinkingware (1.11) aus Haushaltssammelware analysiert. Das PMV (ehemals IfP) hat damals die begleitenden papiertechnologischen Untersuchungen am erfassten Altpapier durchgeführt. Die Altpapiere aus den Testgebieten wurden ohne Sortierung durch einen Altpapierhändler – und damit ohne Generierung einer definierten Altpapiersorte – untersucht. Die Ergebnisse können damit nicht direkt mit Resultaten bestimmter Altpapiersorten verglichen werden. Zweck dieser Untersuchungen war vielmehr aufzuzeigen, mit welchen Maßnahmen bei der Erfassung (z. B. Sammelsystem, Sammelfrequenz, Informationspolitik, Kosten) in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte (Stadt, Land) und Bebauungsstrukturen (z. B. Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Hochhaus) die optimale Qualität und Quantität der Altpapiersorte Deinkingware (1.11) unter minimalen Kosten gewonnen werden kann. Es konnte aufgezeigt werden, dass unter vernünftigen sozialpolitischen Randbedingungen mit verstärkter Informationspolitik auch im Innenstadtbereich mit sog. Bringsystemen große Mengen der Altpapiersorte 1.11 mit geringen Anteilen an papierfremden Stoffen zu vernünftigen Kosten generiert werden können [28, 29].

Mit der Bewertung der Sammelsysteme von Altpapier auf die erfassbaren Altpapiermengen und deren Qualitätseigenschaften beschäftigen sich derzeit Großmann und Bilitewski. Ziel des derzeit laufenden INFOR-Forschungsprojektes (Nr. 92R) ist die Leistungsbewertung von Systemen zur Erfassung von Altpapieren aus haushaltsnahen Anfallstellen in Deutschland. Durch die Projektbearbeitung sollen Kennziffern für die realisierbaren Erfassungsmengen und die stoffliche Zusammensetzung der erfassten Altpapiere in Abhängigkeit von der Besiedlungsstruktur der Entsorgungsgebiete ermittelt und miteinander verglichen werden. Außerdem soll untersucht werden, ob Sammelsystem und Besiedlungsstruktur unterschiedliche Einflüsse auf ausgewählte technologische Gebrauchswerteigenschaften der erfassten Altpapiere ausüben. Die Effizienz der Erfassungssysteme und die Qualität des dort erfassten Altpapiers werden bewertet und daraus Empfehlungen für Steigerungsmöglichkeiten abgeleitet [30].

Zur Abschätzung des zunehmenden Alters der Fasern im Altpapier infolge sich einengender oder gar schließender Recyclingkreisläufe haben Hunold, Götsching und Putz [31, 32, 33] ein Modell zur Berechnung der Altersstruktur der Einzelfasern (Generationsverteilung) entwickelt. Damit kann die faserstoffliche Zusammensetzung des Altpapiers aus grafischen Papiere-

ren (Zellstoff, Holzstoff, Füllstoff/Pigment) bei sich ändernden Mengenströmen einzelner Papiersorten, inkl. Verschiebungen in der Import- und Export-Struktur von Papier und Altpapier, sowie veränderten Altpapier-Einsatzquoten berechnet werden. Das Modell eignet sich ausgezeichnet zur Darstellung von Szenarien. Hinsichtlich der sortenspezifischen Altpapierzusammensetzung sind aufgrund fehlender Analysen Annahmen für die Modellierung zu treffen. Die Ergebnisse des Modells hängen folglich immer von der Repräsentanz der Annahmen ab.

Auf der Basis der letzten Altpapieranalysen veröffentlichten Schabel und Putz 2005 die letzten Modellrechnungen über das mittlere Faseralter für Zeitungsdruckpapier in Deutschland, verbunden mit Prognosen in Abhängigkeit von der weiteren Entwicklung des Altpapiereinsatzes in Deutschland und Europa [34]. Sie zeigen auf, dass bezüglich der zu erwartenden Papierfestigkeiten auch bei den kühnsten Prognosen der Entwicklung des Altpapiereinsatzes kein Recyclingkollaps zu erwarten ist. Allerdings gelten diese Annahmen immer nur unter der Prämisse, dass dafür Sorge getragen wird, die Verunreinigungen in Form von papierfremden Stoffen oder klebenden Verunreinigungen durch entsprechende Sortiermaßnahmen beim Altpapierhandel bzw. Reinigungsmaßnahmen in der Papierfabrik auf mindestens konstantem Niveau zu halten. Mit zunehmend flächendeckenderer Altpapiererfassung in Europa ist allerdings davon auszugehen, dass die Belastung mit Verunreinigungen steigt, was eine stete Herausforderung für Altpapier-Sortierbetriebe und Papierfabriken darstellt.

1.4 Altpapierqualitätskontrolle

Qualitätskontrollen von Altpapier werden in der Regel nur in sehr begrenztem Umfang, meist nur durch in Augenscheinnahme, durchgeführt – sowohl bei der Ausgangskontrolle des Altpapierhandels als auch bei der Eingangskontrolle in den Papierfabriken. Der von allen Beteiligten am häufigsten gemessene Parameter ist der Feuchtigkeitsgehalt des Altpapiers. Erste Dokumente [9-11] regeln ein praktikables Vorgehen bei der Altpapierinspektion, wobei allerdings in absehbarer Zukunft allgemein keine kontinuierliche Qualitätskontrolle zu erwarten ist. Dies liegt insbesondere an der Tatsache, dass kein schnelles und umfassendes Messverfahren zur Verfügung steht, mit dem alle relevanten Eigenschaften einer Altpapierlieferung ermittelt werden können. Im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts ECOTARGET wurde an Sensorentwicklungen gearbeitet – industriell verwertbare Ergebnisse stehen allerdings noch aus. Für grafische Altpapiere hat die INGEDE (Internationale Forschungsgemeinschaft Deinking-Technik e. V.) seit einigen Jahren zwei Methoden zur Eingangskontrolle von Altpapier veröffentlicht, die von einer Sichtprüfung der Altpapierlieferung ausgehen [35, 36]. Ein weiteres, von der INGEDE mitfinanziertes Forschungsprojekt, hat die Entwicklung einer im Bypass betriebenen automatischen Altpapieranalyse zum Ziel und wurde Ende 2006 gestartet.

Im Rahmen des beantragten Forschungsvorhabens sollten zwei Messsysteme eingesetzt werden, die seit geraumer Zeit kommerziell verfügbar sind. Dabei handelt es sich um transportable Messsysteme (AP 500 M und PBS) die von den Firmen Emco bzw. PTS zur Bewertung der Altpapierqualität angeboten werden. Sie wurden immer parallel zur konventionellen Altpapierbeprobung mit dem PMV-Kernbohrer angewandt, der die Proben für die Referenzwerte des Papierfeuchtigkeitsgehalts, der Sortieranalysen bezüglich der Zusammensetzung, die Suspensionseigenschaften sowie die Festigkeitseigenschaften und die optischen Eigenschaften liefert.

Beim AP 500 M der Fa. Emco (**Abb. 4**) handelt es sich um einen Messfühler der ein elektromagnetisches Feld aussendet und direkt auf Altpapierballen oder lose Altpapieraufschüttungen aufgesetzt werden kann. Über die Änderung der Dielektrizitätskonstanten des Wassers bis in 300 mm Tiefe wird der Feuchtigkeitsgehalt der Probe ermittelt [37]. Das Messgerät wird bereits relativ häufig zur Eingangskontrolle in Papierfabriken eingesetzt.



Abb. 4: AP 500 M; Quelle: Emco [38].

Der PBS (PaperBaleSensor) der PTS kann bisher nur an Altpapierballen genutzt werden (**Abb. 5**). Er erfordert die Bohrung eines Loches von 20 mm Durchmesser, in die eine NIR-Messlanze von 1,2 m Länge eingeführt wird. Die NIR-Messung liefert unmittelbar Angaben zum Feuchtigkeitsgehalt, Kunststoff- und Ascheanteil sowie dem Faserstoff- und Holzstoffgehalt [39, 40, 41]. Derzeit sind sieben Geräte in der industriellen Anwendung und zwar zur Aschegehaltskontrolle von Altpapiersorten für die Hygienepapierherstellung und zur Überwachung des Altpapier-Eingangs.



Abb. 5: PaperBaleSensor (PBS): links, Gerät vor Ort; rechts, Benutzeroberfläche des PBS

Quelle: Papiertechnische Stiftung [42]

1.5 Altpapiersortierung

Traditionell wird Altpapier manuell sortiert. Der maschinelle Aufwand für derartige Sortieranlagen ist begrenzt. Neben einem Aufgabe- und Vereinzlungsband wird nur ein Sortierband oder eine Sortierkabine mit entsprechender personeller Besetzung benötigt, um z. B. Fremdstoffe aus einem Altpapierstoffstrom herauszunehmen und den restlichen, sortierten Stoffstrom in einen Abwurfbunker zu transportieren. Diese manuelle Sortierung hat ihre Begrenzung im geringen Durchsatz von 0,5 bis 1,0 Tonnen Altpapier pro Person und Stunde. Unterstützt wird die manuelle Sortierung zunehmend mit mechanischen Siebtechniken zur Unterstützung der manuellen Handsortierung. Einen guten Überblick zu den angewandten Sortiertechnologien geben Wagner und Schabel [6]. Die Siebklassierung dient dazu bestimmte Stoffgruppen in den aufgeteilten Stoffströmen besonders an- oder abzureichern. Die Effizienz eines Siebes hängt von der Qualität der vorgeschalteten Vereinzlung ab. Steigbänder oder die Kombination eines Aufgabe- und Dosierbunkers mit einem Steigband stellen ausreichende Vereinzlungen sicher. Der bei einer Grobsiebung entstandene Siebüberlauf liegt üblicherweise in einem Korngrößenspektrum größer als 300 mm. Bauarten für die Umsetzung der groben Siebklassierung sind Ballistikseparatoren, Scheibensiebe, Sternsiebe und Trommelsiebe. Die Spaltmaßtechnik beschreibt kein Sieb im herkömmlichen Sinn, auch wenn die Trennwirkung durch einen Siebeffekt zustande kommt.

Weitere Möglichkeiten zur Automatisierung der Altpapiersortierung haben sich in der Praxis mit folgenden Verfahren durchgesetzt:

- Feinsiebung mit nachfolgendem „Paperspike“ oder nachfolgendem „Deinkingsieb“,
- mechanische Kartonabtrennung mit nachfolgender, sensorgestützter Karton- bzw. Störstoffabtrennung (zusätzliche Windsichtung vor Erkennung möglich),
- definierte Zerkleinerung des Stoffstroms mit anschließender Luftstromsortierung.

Der Trennschnitt einer Feinsiebung liegt üblicherweise bei etwa 100 mm Korngröße. Eine sich anschließende Sortierung des Papierstroms erleichtert sich dadurch erheblich, da gerade die Abtrennung von Kleinteilen mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Zur Feinsiebung werden prinzipiell die gleichen Apparate wie zur Grobsiebung eingesetzt. Der Unterschied besteht in der Größe der Sieböffnungen bzw. des Spaltmaßes.

Zusätzlich zur Siebtechnik kann vor nachfolgend installierten Erkennungssystemen ein Windsichter geschaltet werden. Im Windsichter wird das zu trennende Material unzerkleinert mit einem in der Geschwindigkeit einstellbaren Beschleunigungsband in den Sichtraum gefördert. Eine in Menge und Richtung regelbare Luftströmung durchströmt die Abwurfparabel unmittelbar nach Verlassen des Förderbandes. Dabei werden großflächige Partikel mit geringem Gewicht in den hinteren Bereich des Sichters gefördert, wo sie sich auf dem Leichtgutsammelband absetzen und mit diesem aus dem Sichter transportiert werden. Schwere Teile fallen im vorderen Bereich des Sichters auf das Schwergutsammelband.

Bei den optischen Erkennungssystemen zur Sortierung von Deinkingware aus unsortiertem Altpapier kann es sich im Einzelnen um folgende Komponenten handeln:

- hochauflösende Farbkamera,
- CMYK-Sensor,
- NIR-Sensor.

Die von einer hochauflösenden Farbkamera aufgenommenen Bilder werden mit Methoden der Bildverarbeitung und der Mustererkennung ausgewertet. Das hierbei wichtigste Merkmal ist die Farbe des detektierten Gegenstands. Mit Hilfe einer Farbkamera ist es möglich, braune und graue Kartonagen sowie durchgefärbte Papiere zu erkennen. Laut Herstellern stellt sich die Unterscheidung zwischen grauen Zeitungen und grauen Kartonagen als schwierig heraus. Auch kann es zu Verwechslungen bei der Farbe kommen. So kann z. B. eine braune Fläche in einer Illustrierten fälschlicherweise als braune Kartonage erkannt werden. Es ist so folglich nicht möglich, bedruckte Kartonagen von bunt bedruckten Illustrierten zu unterscheiden und sicher auszusortieren.

Der CMYK-Sensor ist in der Lage zu erkennen, ob ein Objekt im Drei- oder im Vierfarbendruck bedruckt wurde. CMYK steht für die im Mehrfarbendruck gebräuchlichen Farben Cyan, Magenta, Yellow und Black. Der so genannte Dreifarbendruck verzichtet auf die Farbe Schwarz (Kartonagen). Kann es bei der hoch auflösenden Farbkamera noch zu Verwechslungen von braunen Kartonagen und braun bedruckten Illustrierten kommen, ist eine sichere Detektion mit einem CMYK-Sensor erheblich wahrscheinlicher, da braune Pappen selten im aufwendigen Vierfarbendruck bedruckt werden. Auch die Erkennung von durchgefärbten Papieren ist einwandfrei möglich. Die Kombination von CMYK-Sensor und hochauflösender Farbkamera bietet eine erhöhte Sicherheit der Erkennung durch Redundanz.

NIR-Sensoren detektieren die Adsorption im infraroten Wellenlängenbereich. Ein NIR-Sensor dient bei der Altpapiersortierung zur Erkennung artfremder Materialien und deren Verbunden mit Karton (z. B. Kunststoff).

Mit den derzeit aktuellen modernen Sortiertechniken für Altpapier beschäftigten sich im Jahr 2006 Wagner und Strunz in zwei abgeschlossenen INFOR-Forschungsprojekten (Nr. 65R bzw. 79R), um die technischen Potenziale der teilautomatisierten bzw. automatisierten Altpapiersortierung im Vergleich zur manuellen Sortierung auszuloten [43, 44]. Die Betreiber stark automatisierter Altpapiersortieranlagen stellen die Technologie und die Vorzüge derartiger Aufbereitungsanlagen derzeit auch auf Veranstaltungen der Papierindustrie vor und erläutern die jeweiligen Vorzüge [45, 46].

2 Forschungsziel, Lösungsweg und Untersuchungsmethoden

2.1 Forschungsziel

Das Ziel der Untersuchung ist dreigeteilt. Einerseits sollten die Qualitätseigenschaften der wichtigsten Altpapiersorten aktuell charakterisiert werden. Dies erfolgte zum überwiegenden Anteil durch Altpapieringangskontrollen in den sich am Projekt beteiligenden Papierfabriken. Andererseits sollten die Qualitätseigenschaften von sortiertem Altpapier in Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad der Altpapier-Sortieranlagen bestimmt werden. Diese Untersuchungen wurden in ausgewählten Altpapier-Sortierbetrieben durchgeführt. Schließlich wurden die zwei industriell verfügbaren Messsystem zur Altpapieringangskontrolle (AP 500 M und PBS) durch Bezug auf das Referenzverfahren und Parallelmessungen in den Papierfabriken und in den Altpapier-Sortierbetrieben bewertet.

Zur Analyse sollten die Altpapiersorten 1.01 (unsortiertes gemischtes Altpapier), 1.02 (sortiertes gemischtes Altpapier), 1.04 (Kaufhausaltpapier) und Deinkingware 1.11 aus dem Bereich der „Unteren Sorten“ sowie der „Krafthaltigen Sorte“ 4.03 (gebrauchte Kraftwellpappe 2) herangezogen werden. Insgesamt repräsentieren diese fünf Altpapiersorten rund 75 % der in Deutschland eingesetzten Altpapiermenge.

Bei der Erfassung des Altpapiers ist zwischen dem gewerblichen Bereich (Pre-consumer), in dem meist Containersysteme genutzt werden, und dem privaten bzw. haushaltsnahen Bereich (Post-consumer) zu unterscheiden. Für die haushaltsnahe Erfassung werden heute zu rund 90 % Depotcontainer (Bringsystem) und Papiertonnen (Holsystem) zum Einsammeln des Altpapiers genutzt. Während die Altpapiersorten 1.01, 1.02 und 1.11 bevorzugt im Pre-consumer Bereich und die Sorte 4.03 bevorzugt Post-Consumer anfallen, wird die Altpapiersorte 1.04 sowohl aus dem Pre-Consumer (Supermärkte) als auch dem Post-Consumer (private Haushalte) Bereich generiert.

Unter Berücksichtigung des Altpapieretrags in existierende manuelle, halbautomatische oder vollautomatische Sortiersysteme wurden die erzeugten Altpapierqualitäten der o. a. fünf wichtigsten deutschen Altpapiersorten ermittelt. Die zu untersuchenden Qualitätsmerkmale der Altpapiersorten aus Papierfabriken und Altpapier-Sortierbetrieben beziehen sich auf:

- die Zusammensetzung nach den enthaltenen Papiersorten,
- die Zusammensetzung nach papierfremden Stoffen und unerwünschten Papieren und Pappen,
- den Feuchtigkeitsgehalt und den Aschegehalt,
- den Gehalt an grobdispersen klebenden Verunreinigungen (Makro-Stickys),
- die Suspensions- und Festigkeitseigenschaften sowie die optischen Eigenschaften (z. B. Schopper-Riegler-Wert, Faserlänge, Reißlänge, Weiterreißarbeit, Weißgrad),
- die chemischen Inhaltsstoffe (z. B. CSB, OX, PCP, DIPN, Phthalate).

Durch die Bewertung des noch nicht sortierten Altpapieretrags in die Sortieranlagen, die Aufnahme der installierten Sortiertechnologie und die Bewertung der erzeugten Altpapiersorten, kann eine Aussage über Sortieraufwand und Altpapierqualität und damit über die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Altpapiersortieranlagen getroffen werden.

Da auch in Zukunft keine Online-Erfassung der verschiedenen Altpapierqualitätsmerkmale zu erwarten ist, stellt diese Untersuchung der Qualitätseigenschaften der relevanten Altpapiersorten in Deutschland einen weiteren methodischen Baustein dar, um die Langzeitentwicklung dieser Altpapiersorten zu dokumentieren. Durch den Vergleich mit zurückliegenden Untersuchungen konnten Rückschlüsse auf Veränderungen und Gefahren gezogen sowie Prognosen für das Recyclingsystem in Deutschland abgeleitet werden.

Neben der traditionellen Beprobung der Altpapierballen mit dem PMV-Kernbohrer zur Charakterisierung der Qualitätseigenschaften verschiedener Altpapiersorten wurden zusätzlich zwei moderne transportable Messsysteme zur Bestimmung bestimmter Altpapiereigenschaften mitgetestet und bewertet. Dies sind:

- das AP 500 M der Fa. Emco zur Bestimmung der Feuchtigkeit von Altpapierballen und
- der PBS-NIR-Sensor der PTS zur Bestimmung von Feuchtigkeit, Aschegehalt, Kunststoffanteil, Faserstoff- und Holzstoffgehalt.

Beim AP 500 M handelt es sich um ein Messgerät, das über Dielektrizitätsmessung den Feuchtigkeitsgehalt einer Altpapierprobe liefert. Der PaperBaleSensor (PBS) der PTS ermöglicht durch NIR-Messungen im Inneren von Altpapierballen unmittelbar Angaben zu den genannten Parametern.

Beide Messgeräte liefern schnell Messwerte über Feuchtigkeit bzw. Zusammensetzung von Altpapierballen. Sie stellen damit eine wertvolle Ergänzung zur üblichen Altpapier-Eingangskontrolle in den Papierfabriken dar, die sich normalerweise auf eine visuell-subjektive Bewertung der Altpapierlieferungen beschränken. Dabei werden häufig mangelhafte Altpapierlieferungen nicht erkannt, was zu Betriebsstörungen, Maschinenbeschädigungen, Produktionsausfällen oder Qualitätseinbußen des erzeugten Papiers führen kann. Wenn nachgewiesen werden kann, dass die Messgeräte verlässliche Daten über Feuchte und Zusammensetzung des Altpapiers liefern, kann den Papierfabriken ein Werkzeug empfohlen werden, mit dem sie ihre Altpapieringangskontrolle effektiver durchführen und damit Produktionskosten durch minderwertige Altpapierqualitäten vermeiden können.

Die beantragten Messgeräte sind die einzig geeigneten, die heute am Markt sind. Wenn sie die gewünschten Daten mit ausreichender Genauigkeit liefern, wäre eine schnellere, umfassendere und damit kostengünstigere Eingangskontrolle von Altpapier in Papierfabriken aber auch Ausgangskontrollen der Altpapierqualität in Altpapier-Sortierbetrieben möglich. Diese Kontrollen ermöglichen Kosteneinsparungen, Bereitstellung besserer Altpapierqualitäten und eventuell den verstärkten Einsatz von Altpapier in höherwertigeren Papiersorten. Künftige Studien (z. B. in 5 oder 10 Jahren) werden vermutlich mit derartigen Techniken durchgeführt und dann kostengünstiger sein. Für die Vergleichbarkeit und Zukunftsfähigkeit der Ergebnisse ist aber schon heute der Einsatz dieser Techniken erforderlich. Außerdem können die mit diesen Techniken erfassten Daten heute und zukünftig in gemeinsame Datenbanken einfließen und verglichen werden.

2.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Die ermittelten Altpapierqualitätsdaten wurden mit den 1984, 1994/1996 und 1999 von der Forschungsstelle erhobenen Daten verglichen und dokumentiert. Dadurch konnte die Entwicklung von Veränderungen der Altpapierqualität aufgezeigt, potenzielle Ursachen konnten ermittelt und zukünftige Entwicklungen abgeschätzt werden. Zum zweiten Mal war auch eine umfassende Bestimmung des Gehalts an grobdispersen Stickys vorgesehen, die als produktionsstörende Verunreinigungen zu kostenintensiven Wirkungsgradverlusten der Papiermaschine führen und für deren Zunahme es Indizien gibt. Die Bestimmung von Inhaltsstoffen gab Hinweise darüber, ob es zu einer Anreicherung von kritischen Substanzen im Altpapier kommt. Die Ermittlung der spezifischen CSB-Fracht der verschiedenen Altpapiersorten stellt eine Planungs- und Auslegungsgrundlage für innerbetriebliche und externe Wasserreinigungsanlagen dar.

Mit der Bewertung der Altpapiersortieranlagen, die zunehmend automatisiert werden, sollte die Frage beantwortet werden, welcher Sortieraufwand zum Erreichen einer bestimmten Altpapierqualität erforderlich ist. Außerdem ergab der Vergleich identischer Altpapiersorten (z. B. 1.02) aus verschiedenen Sortieranlagen die Möglichkeit aufzuzeigen, mit welcher Sortiertechnologie möglicherweise ein Qualitätssprung erzielt werden kann. Aus dem Vergleich der Altpapierqualitätsdaten von eingekauften Altpapiersorten der Papierfabriken mit Ergebnissen aus zurückliegenden Untersuchungen wurde eine Abschätzung schleichender Qualitätsveränderungen durch die zunehmende Altpapiererfassung und die steigende Altpapierverwertung in Deutschland möglich.

Mit der Verwendung der neuen Messsysteme für Altpapierballen, AP 500 M zur Feuchtigkeitskontrolle und PBS-Sensor zur Bewertung von Feuchtigkeit, Asche-, Kunststoff-, Faserstoff- und Holzstoffgehalt konnten diese Messergebnisse direkt mit den mittels repräsentativer Kernbohrungen und nachfolgend genormter gravimetrischer Auswertungen verglichen werden. Ein unabhängiger objektiver Vergleich dieser relativ schnellen Messverfahren gibt Hilfestellung bei der Einführung intensivierter Altpapieringangskontrollen in den Papierfabriken.

2.1.2 Innovativer Beitrag der Forschungsergebnisse

Die Ergebnisse dienen in erster Linie zunächst dazu, die Entwicklung von langfristigen Veränderungen diverser Qualitätseigenschaften von Altpapier aufzuzeigen. Mit der Kenntnis um diese Entwicklung kann abgeschätzt werden, wie sich die Qualitätseigenschaften voraussichtlich weiter verändern werden und ab welchem Zeitpunkt durch intensiviertes Recycling mit Schwierigkeiten in der Gruppe der unteren Altpapiersorten zu rechnen ist.

Mit den zusätzlichen Informationen aus der Bewertung der verschiedenen Altpapiersortiersysteme ist es möglich aufzuzeigen, welche Altpapierqualität mit Hilfe welcher Automatisierungsstufen möglich ist und wie mit steigender Verunreinigung des zu sortierenden Altpapiers die Altpapiersortiersysteme erweitert werden müssen, um eine konstante Altpapierqualität liefern zu können. Veränderungen in Zusammensetzung und Qualität der Altpapiersorten erfordern bei den Papierfabriken entsprechende Maßnahmen bei der angewandten Prozesstechnologie, um die Qualitätsanforderungen der zu erzeugenden Papiersorten aufrechterhalten zu können.

Die vergleichende Bewertung neuartiger Messtechnik zeigt den Papierfabriken darüber hinaus die Möglichkeiten und Grenzen einer neuartigen Altpapiereingangskontrolle im Vergleich zur bisher praktizierten visuell-subjektiven Bewertung auf. Dadurch können die Papierfabriken Kosten einsparen die durch mangelhafte Altpapierlieferungen zu Betriebsstörungen, Maschinenbeschädigungen, Produktionsausfällen oder Qualitätseinbußen des erzeugten Papiers führen. Diese Kosteneinsparungen stärken die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Papierindustrie und fördern insgesamt die Verwendung von Sekundärrohstoffen bei der Papierherstellung.

2.2 Lösungsweg

Vor Beginn der Probenahme wurde ein Fragebogen über Konzeption und Aufbau der Altpapiersortieranlagen entwickelt. Mit diesem Fragebogen wurden die in Frage kommenden Altpapiersortieranlagen bewertet, zur Aufnahme von Anlagendetails und zur Planung der Beprobungen besucht, um schließlich die drei Anlagen ausgewählt, die im Rahmen des Projekts untersucht werden sollen. Dabei ist insbesondere darauf zu achten, dass ein möglichst breites Spektrum von weitestgehend manueller Sortierung bis zur vollautomatischen Altpapiersortierung unter Nutzung unterschiedlicher Sortier- und Sensortechniken in die Untersuchung mit einbezogen werden kann. In den drei ausgewählten Altpapiersortieranlagen wurde sowohl das eingehende, zu sortierende Altpapier aus haushaltsnaher Erfassung (sog. Haushaltssammelware) bezüglich seiner Zusammensetzung bewertet als auch die erzeugten und zu vermarktenden Altpapiersorten (1.04, 1.02 und 1.11) bezüglich ihrer Zusammensetzung und der gemäß in Kapitel 3.1 aufgelisteten Qualitätseigenschaften. Haushaltssammelware besteht überwiegend aus grafischen Papierprodukten weshalb der Altpapierhandel stets versucht, möglichst hohe Massenanteile der am besten bezahlten Altpapiersorte „Deinkingware“ (1.11) im Zuge der Sortierung zu generieren. Daher werden bei einer Negativsortierung Verunreinigungen, papierfremde Materialien und Verpackungen aus dem einkommenden Papierstrom entfernt. Der verbleibende Rest stellt die Altpapiersorte 1.11 dar. Die aussortierten Verpackungen werden zusammen mit kleinteiligen Anteilen an grafischen Papieren entweder als gemischtes Altpapier 1.02 oder Kaufhausaltpapier 1.04 vermarktet. Bei der industriellen Sortierung von Haushaltssammelware werden also i. d. R. die drei Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 1.11 generiert. Um Rückschlüsse von der erzeugten Altpapierqualität auf die Anlagenkonzepte zu ermöglichen, sind anlagenspezifische Charakteristika, wie beispielsweise der Durchsatz pro Zeiteinheit, die Personalbesetzung der Automatisierungsgrad und die Massenströme der einzelnen Altpapierfraktionen zu ermitteln.

2.3 Untersuchte Altpapiersorten

Von den gehandelten Standardsorten der europäischen Altpapiersortenliste des CEPI / B. I. R. wurden die nachfolgend aufgeführten Altpapiersorten ausgewählt. Die in den eckigen Klammern angegebenen Zahlen entsprechen dem Sortencode der vor Juni 2000 gültigen Liste der europäischen Standardsorten [47]. Die Altpapiersorte 1.01 [B10], unsortiertes gemischtes Altpapier (unerwünschte Stoffe entfernt) stellt eine Mischung verschiedener Papier- und Pappesorten ohne Begrenzung der Anteile an kurzfaserigem Material dar. Da diese Altpapiersorte in den sich am Projekt beteiligenden Papierfabriken nicht zur Verfügung stand, konnte keine Beprobung durchgeführt werden. Außerdem ist die Sorte 1.01 mengenmäßig von geringerer Relevanz. Daraufhin wurde die Probenanzahl der anderen zu untersuchenden Altpapiersorten erhöht.

Gruppe 1: Untere Sorten

- 1.02 [B12] Sortiertes gemischtes Altpapier:
Eine Mischung verschiedener Papier- und Pappequalitäten, die maximal 40 % an Zeitungen und Illustrierten enthält.
- 1.04 [B19] Kaufhausaltpapier:
Gebrauchte Papier- und Kartonverpackungen, die mindestens 70 % Wellpappe enthält, Rest Vollpappe und Packpapier.
- 1.11 [D39] Deinkingware ^{^a}:
Sortiertes grafisches Papier aus haushaltsnaher Erfassung, Zeitungen und Illustrierte mit einem Mindestanteil von 40 %. Der prozentuale Anteil von nicht-deinkbarem Papier sollte im Laufe der Zeit auf 1,5 % reduziert werden. Der jeweilige prozentuale Anteil ist zwischen Käufer und Verkäufer zu vereinbaren.

Gruppe 4: Krafthaltige Sorten

- 4.03 [W52] Gebrauchte Wellpappe 2:
Gebrauchte Verpackungen aus Wellpappe, mit Decken aus Kraftlinern oder Testlinern, wobei jedoch mindestens eine Decke aus Kraftlinern hergestellt ist [47].

^{^a} Ab 01. Juli 2000 gilt folgende Vereinbarung zum Störstoffgehalt:

1. Die Ablehnungsgrenze für die Summe aller Störstoffe (= unerwünschte Papiere und Pappen sowie papierfremde Stoffe) wurde für Einzellieferungen als größer 3 % definiert.
2. Darüber hinaus darf für die Lieferungen innerhalb eines Monats der Mittelwert für die Summe aller Störstoffe von 2,5 % nicht überschritten werden.
3. Bei Überschreitungen der unter den Punkten 1 und 2 genannten Werte werden die Konsequenzen zwischen dem Lieferanten und dem Abnehmer bilateral verhandelt.

Es gelten die Vereinbarungen der Sitzung zwischen BDE, BVSE und Deinking-Industrie vom 06. April 2000:

Gemäß deutscher Altpapiersortenliste vom Juni 2000 gelten 1,5%. Gemäß einer Vereinbarung zwischen der Deinking-Industrie und BDE, bvse gelten 2,5 % im Monatsmittel, aber maximal 3 % als Ablehnungsgrenze bei Einzellieferung (EUWID Nr. 21, 24.05.2000, S.9).

Die ausgewählten Sorten stellten im Mittel über die Jahre 2007-2009 ca. 75 % des gesamten Altpapierverbrauchs dar.

Die Altpapiersorte 1.11 wird hauptsächlich für die Herstellung grafischer Papiere (z. B. Zeitungsdruckpapier) verwendet. Die Altpapier-Einsatzquote in Deutschland für Zeitungsdruckpapier betrug zwischen 2007 und 2009 im Mittel 112 % und in dieser Produktgruppe wird überwiegend 1.11 eingesetzt. Vereinfacht wird die Altpapiersorte 1.11 auch als „grafisches Altpapier“ oder „Deinkingware“ bezeichnet.

Die Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 4.03 finden hauptsächlich bei der Herstellung von Verpackungspapieren und Kartonagen Verwendung. Sie werden im Weiteren auch mit der Bezeichnung „braune Altpapiersorten“ zusammengefasst.

Durch die Betrachtung des Altpapierverbrauchs der deutschen Papierindustrie über die Jahre 2007-2009 wird ersichtlich, dass dieser relativ konstant war (**Abb. 6**). Daraufhin wurden im Weiteren alle betrachteten Qualitätsparameter als Mittelwerte aus den untersuchten Lieferungen je Altpapiersorte dargestellt.

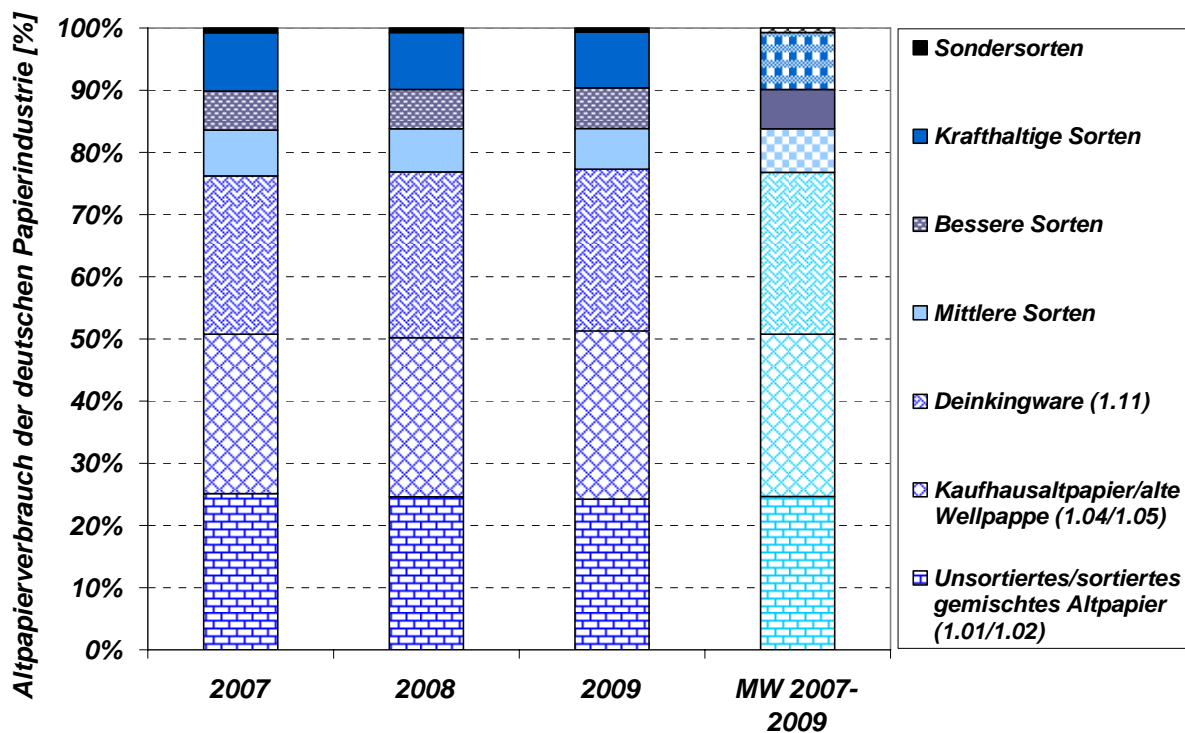


Abb. 6: Mittlerer Altpapierverbrauch über die Jahre 2007-2010

2.4 Probenahme

Vor Beginn der Probenahme wurden die in Frage kommenden Altpapiersortieranlagen anhand eines Fragebogens bewertet und ausgewählt. Die Probenahmeorte der Papierfabriken wurden maßgeblich nach Verfügbarkeit der zu untersuchenden Altpapiersorten und Regionalität ausgewählt. In **Abb. 7** sind die Orte an denen Altpapierproben in Papierfabriken und in Altpapier-Sortierbetrieben entnommen wurden dargestellt. Die Probenentnahmen erfolgten insgesamt in 11 Papierfabriken und sechs Altpapier-Sortierbetrieben. Der Zeitraum der Probenahme erstreckt sich über die gesamte Projektlaufzeit und die Orte an denen Proben entnommen wurden über ganz Deutschland. Somit kann die Beprobung nicht nur aufgrund der Anzahl an entnommen Proben je Altpapiersorte sondern auch saisonal sowie regional als repräsentativ betrachtet werden.

Die Beschaffung von Altpapierproben in einer Papierfabrik hatte folgende Nachteile. In der Regel kauft eine Papierfabrik entsprechend ihrem Produktspektrum nur eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher Altpapiersorten.

Zudem werden die erforderlichen Sorten und Mengen oft überregional beschafft. Es kann angenommen werden, dass nicht immer Altpapier aus der Region beprobt wird und daher Kenntnisse über Erfassung und Sortengenerierung des untersuchten Altpapiers nicht oder kaum vorhanden sind.

Die Probenahme in den Altpapier-Sortierbetrieben im Vergleich zu Papierfabriken hatte folgende wesentliche Vorteile. In der Regel sind alle gewünschten Sorten verfügbar und die begrenzten Einzugsgebiete der Entsorgungsunternehmen repräsentieren die regionale Situation der Erfassung. Außerdem konnten bei den Entsorgungsunternehmen Informationen über Erfassungsstruktur und Sortengenerierung des Altpapiers eingeholt werden.

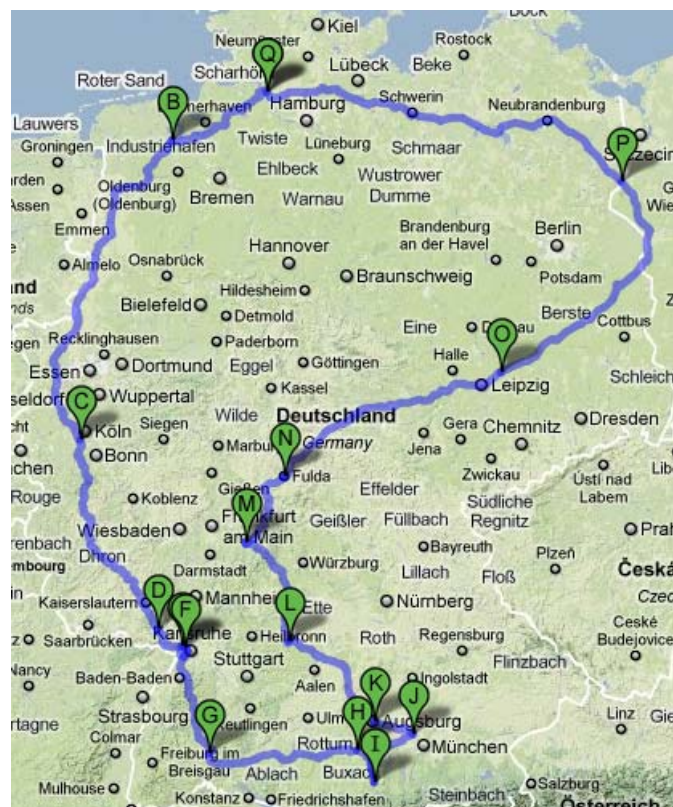


Abb. 7: Orte der Altpapier-Probenahme in Papierfabriken und Sortierbetrieben

In **Tabelle 1** sind die Anzahl an Papierfabriken, in denen Beprobungen vorgenommen wurden, die Anzahl an beprobten Lieferungen sowie die Anzahl an beprobten Ballen und an entnommenen Bohrkernen der zu untersuchenden Altpapiersorte aufgeführt. Zusätzlich wurden in sechs Altpapier-Sortierbetrieben 30 Proben entnommen.

Tabelle 1: Anzahl an beprobten Papierfabriken, Lieferungen, Ballen und Bohrkernen der jeweiligen Altpapiersorte

<i>Altpapiersorte</i>	<i>Anzahl an Papierfabriken</i>	<i>Anzahl an Lieferungen</i>	<i>Anzahl an Ballen</i>	<i>Anzahl an Bohrkernen</i>
1.01 Ballen	nicht verfügbar	-	-	-
1.02 Ballen	6	9	45	90
1.04 Ballen	6	9	45	90
4.03 Ballen	1	2	6	12
1.11 Ballen	3	7	31	62
1.11 Lose	9	42	-	-

Das eingehende, noch unsortierte, lose Altpapier und die daraus genierten Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 1.11 in Altpapier-Sortieranlagen sowie die Altpapiersorte 1.11 die zu über 90 % in loser Lieferform in den Papierfabriken angeliefert wird, wurden in Anlehnung an die INGEDE-Methode 7 zur Bewertung loser Altpapierlieferungen beprobt. Dieses Verfahren kam bereits im AiF-Projekt 11420 zur Anwendung [21]. Dabei erfolgten prinzipiell Mehrfachbeprobungen mit großen offenen Behältnissen (z. B. Maurerwannen) nach dem Schema in **Abb. 8**. Die Beprobung erfolgte, indem unter das Altpapier-Transportband oder die Radladerentleerungsstelle Behältnisse platziert wurden und eine Teilbeprobung stattfand, die dann nachfolgend manuell bezüglich ihrer Zusammensetzung ausgewertet wurde.

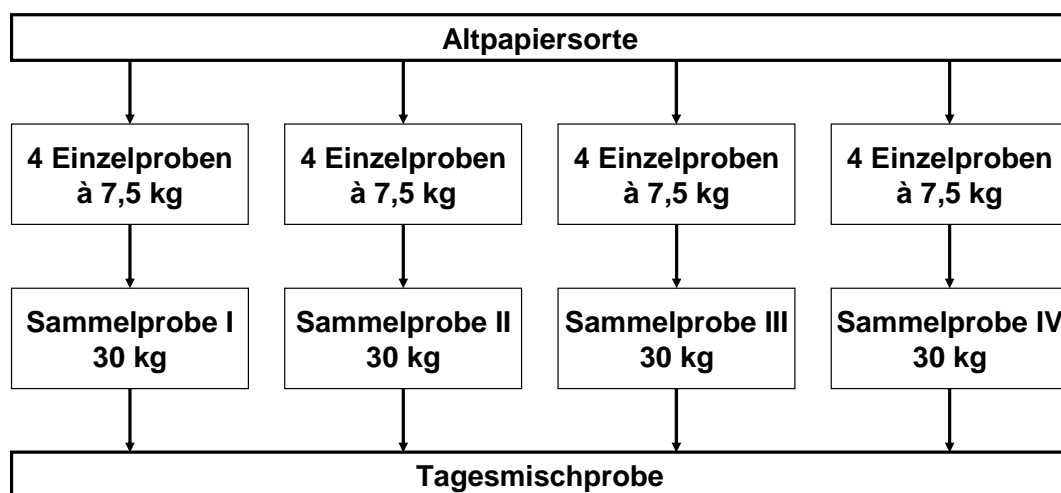


Abb. 8: Probenahmekonzept für loses Altpapier

Für die Bewertung der Altpapierballen wurde auf das im AiF-Projekt 11420 bewährte Probenahmekonzept mit dem PMV-Kernbohrer zurückgegriffen (**Abb. 9**). Die produzierten Altpapiersorten wurden mit dem PMV-Kernbohrer beprobt, alle Stichproben vor Ort luftdicht verpackt und am Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik (PMV) nach dem bewährten Schema ausgewertet. Dabei wurde zunächst für jede Bohrprobe die Zusammensetzung der Altpapiersorten nach papierfremden Stoffen, unerwünschten Papieren und Pappen sowie nach unterschiedlichen Papiersorten gravimetrisch erfasst (**Abb. 10**).

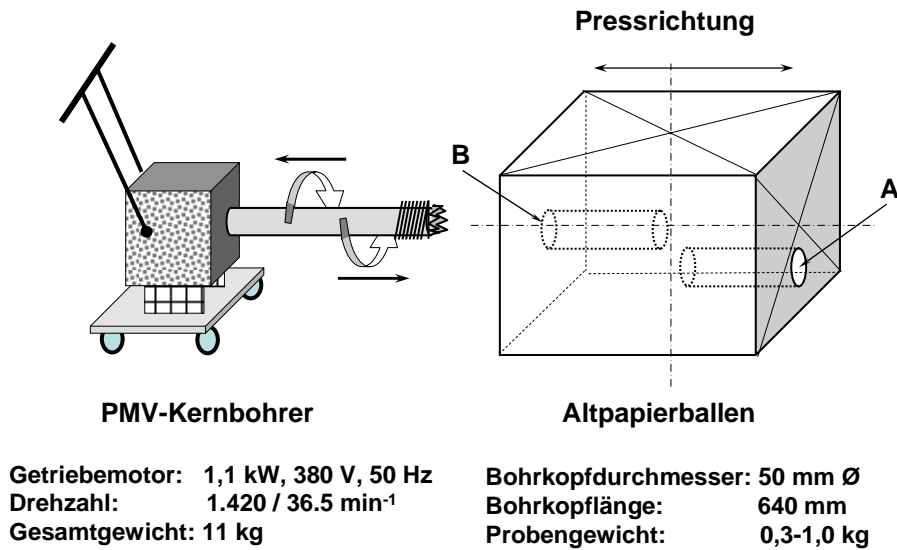


Abb. 9: PMV-Kernbohrer mit Probenahmeschema

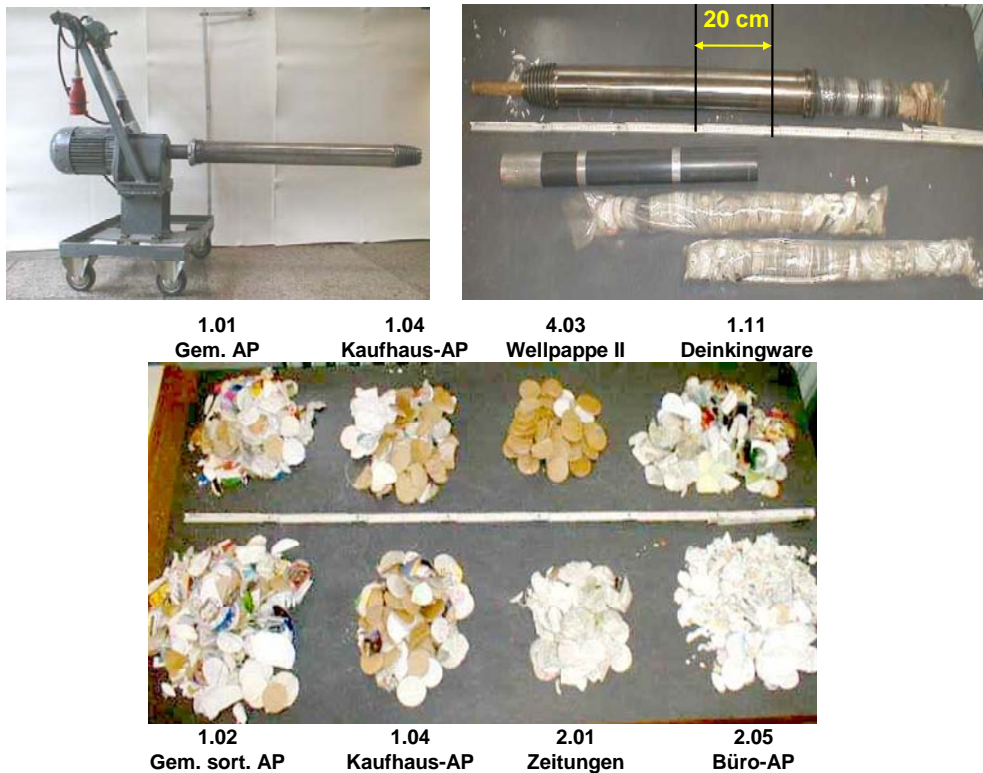


Abb. 10: PMV-Kernbohrer mit „Innenleben“ und Proben von verschiedenen Altpapiersorten

Die Beprobungen in den Papierfabriken unterscheiden sich nicht grundsätzlich von der Beprobung in den Sortierbetrieben bzw. beim Altpapierhandel. Zusätzlich zur Beprobung der Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 1.11 in den Altpapier-Sortierbetrieben wurde allerdings noch die mengenmäßig wichtige Sorte gebrauchte Kraftwellpappe 2 (4.03) beprobt. Die Probenahmen erfolgten in 11 der sich beteiligenden Papierfabriken von verschiedenen Lieferanten. Damit sollte sichergestellt werden, dass eine repräsentative Bewertung der aktuellen Altpapierqualitäten, wie sie die Papierfabriken einkaufen, möglich wurde. Mit der Beprobung dieser insgesamt vier Altpapiersorten sind knapp 75 % des gesamten Altpapiereintrags in Deutschland abgedeckt.

Die Proben wurden sowohl aus loser Altpapierware als auch aus Altpapierballen gezogen, wobei Deinkingware (1.11) meistens als lose Ware gehandelt und die Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 4.03 bevorzugt zu Ballenware verpresst ausgeliefert werden. Die Art der Probenahme richtete sich nach den am PMV entwickelten Methoden. Jede Tagesmischprobe einer Altpapiersorte aus loser Ware (1.11) wurde demnach aus vier Sammelproben á 30 kg in Anlehnung an INGEDE-Methode 7 gezogen (vgl. Abb. 8). Lag Ballenware vor, so wurden aus den Ballen jeweils zwei Bohrkerne (an den zwei sich in Pressrichtung gegenüberliegenden Seiten) entnommen. Die Anzahl an Ballen die je Lieferung beprobt wurde hing von der Homogenität der zu beprobenden Altpapiersorte ab. Bei den Altpapiersorten 1.02 und 1.04 wurden fünf Ballen je Lieferung und bei der homogeneren Altpapiersorte 4.03 wurden drei Ballen je Lieferung untersucht. Zur Beprobung der Altpapiersorte 1.11 die in Ballen vorlag wurden zunächst fünf Ballen je Lieferung untersucht. Die Anzahl wurde aufgrund der höheren Homogenität im Laufe des Projekts auf drei Ballen je Lieferung reduziert. Alle Stichproben wurden vor Ort verpackt und an den Forschungsstellen ausgewertet.

Parallel zur Beprobung mit dem PMV-Kernbohrer wurden die gleichen Altpapierballen mit dem PBS-NIR-Messsystem und dem Feuchtigkeitsmesssystem AP 500 M vermessen. Für das AP 500 M Messgerät mussten keine weiteren Vorkehrungen mehr getroffen werden, da der Feuchtigkeitsgehalt lediglich von außen mit Hilfe eines Sensors ermittelt wurde. Das NIR-Messsystem der PTS verlangt zunächst die Bohrung eines zusätzlichen Loches von 20 mm Durchmesser mit einer Bohrmaschine. In dieses Loch wurde die NIR-Sonde eingeführt, danach konnten die Ergebnisse unmittelbar abgelesen werden. Die Bohrungen wurden in unmittelbarer Nähe der Bohrlöcher des PMV-Bohrgeräts (70 mm Durchmesser) angebracht und die gewonnen NIR-Ergebnisse mit den gravimetrischen Kernbohreranalysen verglichen. Damit sind Aussagen über die Genauigkeit der NIR-Messungen und des AP 500 M möglich bzw. konnten die Einschränkungen beider Messgeräte aufgezeigt werden.

2.5 Untersuchungsmethoden

Im Anschluss an die Probenahme erfolgten zunächst eine manuelle Sortierung und danach die Homogenisierung des Probenmaterials je Altpapierballen sowie die Bestimmung der Suspensionseigenschaften. Es wurden Laborblätter gebildet und sowohl mechanische als auch optische Eigenschaften analysiert. Die Bestimmung der chemischen Inhaltsstoffe erfolgte an den Filtraten (im Weißband) der Stoffsuspensionen. Die Makro-Stickybestimmung, der Aschegehalt, die Faserfraktionierung und das Wasserrückhaltevermögen wurden ebenfalls an den Stoffsuspensionen durchgeführt. Alle nachfolgend aufgeführten Prüfmethode stellen sicher, dass die erzielten Ergebnisse unmittelbar mit früheren Untersuchungen verglichen werden können.

2.5.1 Feuchtigkeitsgehalt

Die Ermittlung des Feuchtigkeitsgehalts der Proben wurde gravimetrisch in Anlehnung an DIN EN 20287-94 durchgeführt. Parallel dazu wurden Messdaten mit den beiden elektronischen Messsystemen (PBS-Sensor und AP 500 M) erhoben.

2.5.2 Zusammensetzung des Altpapiers

Die Menge an papierfremden Stoffen, unerwünschten Papieren und Pappen und der enthaltenen unterschiedlichen Papiersorten wurde durch manuelle Sortierung der Probe und gravimetrischer Auswertung vorgenommen. Sie wurde anhand einer am PMV entwickelten und erprobten Klassierung durchgeführt. Dadurch wurde eine Vergleichbarkeit mit früheren Untersuchungen gewährleistet.

Die Zusammensetzung von Altpapier ist das bestimmende Merkmal einer Altpapiersorte. Entsprechend der Zusammensetzung wird eine Altpapiersorte vorzugsweise in einer bestimmten Produktgruppe, z. B. für die Herstellung von grafischen Papieren, Hygiene- oder Verpackungspapieren, Verwendung finden. Die Ermittlung der Zusammensetzung erfolgte durch manuelles Trennen der Altpapierproben in ihre Bestandteile. In Anlehnung an Produktgruppen und bestehende Altpapiersortenliste (DIN EN 643) wurde die Zusammensetzung in vier Hauptkategorien unterteilt:

- Grafische Papiere:

Hierunter fallen alle Papiere für grafische Zwecke, also i. d. R. Printmedien (z. B. Zeitungen, Illustrierte, etc.) und Büropapiere.

- Verpackungspapiere und Karton:

Hierunter fallen alle Verpackungsmittel aus Papier oder Pappe, z. B. Wellpappen und Faltschachteln.

- Ungeeignete/sonstige Papiere und Pappen:

Die Kategorie ungeeignete/sonstige Papiere setzt sich aus den Fraktionen Hygienepapiere, Tapeten, durchgefärbte Papiere und Verbundstoffe zusammen.

Ungeeignete Papiere und Pappen:

Für die Deinkingware (1.11) sind diese Fraktionen für den Recyclingprozess ungeeignet und somit den nicht-deinkbaren bzw. unerwünschten Papieren zuzuordnen. Im Weiteren wurde diese Kategorie für die Altpapiersorte 1.11 als „ungeeignete Papiere und Pappen“ bezeichnet.

Sonstige Papiere und Pappen:

Für Wiederaufbereitungsprozess der braunen Altpapiersorten (1.02, 1.04 und 4.03) sind die in dieser Kategorie enthaltenen Fraktionen durchaus zur Wiederaufbereitung geeignet. Somit wurde die Kategorie für die braunen Sorten mit „sonstige Papiere und Pappen“ bezeichnet.

- Papierfremde Stoffe:

Hierunter fallen alle Materialien, die nicht Papier oder Pappe sind (z. B. Kunststoffe, Textilien, Metalle, Glas, Holz, etc.).

Eine differenziertere Einteilung der Hauptkategorien grafische Papiere, Verpackungspapiere und Karton, ungeeignete/sonstige Papiere und Pappen sowie papierfremde Stoffe wurde für alle Altpapiersorten nach den in **Tabelle 2** aufgeführten Fraktionen vorgenommen.

Tabelle 2: *Sortierkategorien und deren enthaltene Fraktionen*

Grafische Papiere	
Zeitungen + zeitungssähnliche Beilagen	Holzfreie, weiße Papiere (auch gestrichen)
Ungestrichene Illustrierte + ähnliche Beilagen	Selbstdurchschreibepapiere
Gestrichene Illustrierte + ähnliche Beilagen	Briefumschläge/Versandtaschen (grau, braun)
Kataloge	Briefumschläge/Versandtaschen (weiß)
Bücher (auch Taschenbücher)	Sonstige grafische Papiere
Andere holzhaltige Papiere	
Verpackungspapiere und Karton	
Wellpappe (grau, braun)	Stark farbig bedruckter Karton/Pappe
Wellpappe (weiß gedeckt)	Verpackungspapiere
Vollpappe	Gewachste und nassfeste Verpackungen
Karton (grau, braun)	Sonstige Verpackungspapiere und Karton
Karton (weiß)	
Ungeeignete/sonstige Papiere und Pappen	
Hygienepapiere	Durchgefärbte Papiere
Tapeten	Verbundstoffe
Papierfremde Stoffe	
Kunststoffe (Harte + Weiche)	Holz
Metall	Sonstiges

Die Bezeichnung „braun“ charakterisiert kraftzellstoffhaltige Verpackungspapiere und Karton, während „grau“ Recyclingprodukte kennzeichnet. Vollpappe unterscheidet als Oberbegriff massive Pappe von Wellpappe. Alle Kategorien enthalten eine Fraktion „Sonstige“. Dieser Fraktion wurden Materialproben zugeordnet, welche nicht explizit einer bestimmten Fraktion, aber ihrem Wesen eindeutig z. B. als grafisches Papier oder Verpackungspapier identifiziert werden konnten.

Nach dem manuellen Sortieren wurden die einzelnen Fraktionen gewogen. Die Auswertung erfolgte in Gewichtsprozent, bezogen auf die sortierte Probemenge (Iutro). Nach dem Auswiegen wurden der Anteil papierfremder Stoffe und die Fraktion sonstige ungeeignete Papiere und Pappen verworfen. Das restliche Altpapier wurde wieder zusammengeführt und für die weiteren Untersuchungen verwendet bzw. nach den in Kapitel 2.6 dargestellten Analysekonzepten (s. Abb. 11-Abb. 13) aufbereitet und analysiert.

2.5.3 Suspensionseigenschaften

Die Suspensionseigenschaften werden nach DIN-, INGEDE-, oder ZM-Normen (INGEDE = Internationale Forschungsgemeinschaft Deinking-Technik e. V., ZM = Verein ZELLCHEMING e.V.) durchgeführt:

- Aschegehalt:

Die Bestimmung des Aschegehaltes erfolgte nach DIN 54370-06E bei den Temperaturen 575° C und 900° C. Dazu wurde ein LECO Thermogravimetriemessgerät verwendet.

- Schopper-Riegler-Wert (SR-Wert):

Das Entwässerungsverhalten nach Schopper-Riegler (SR) wurde gemäß DIN EN ISO 5267/1-00 bestimmt. Hierzu wird eine Stoffsuspension über einem Siebtuch entwässert. Während der Filtrationswiderstand des Siebes konstant ist, ändert sich der Filtrationswiderstand der sich bildenden Faser- bzw. Feststoffschicht in Abhängigkeit von Schichtdicke, Faserlänge und Faseroberflächenstruktur (Grad der Fibrillierung), aber auch vom Füll- und Feinstoffgehalt. Die Durchtrittsgeschwindigkeit der Suspension durch diese Barriere bestimmt die Überlaufmenge in einem Scheidetrichter als Maß für den SR-Wert. Theoretisch reicht der SR-Wert von 0-100 SR (leicht bis schwer entwässernd) wobei ungemahlene Zellstoffe SR-Werte von 14-16 SR und Holzschliffe von 60-85 SR erreichen.

- Wasserrückhaltevermögen (WRV):

Das WRV gibt Aufschluss über die Quellung der Fasern. Da es keine direkte Messmethode gibt, wurde die Methode nach Jayme angewendet. Dabei wird die Menge an Wasser, das an den Fasern gebunden bleibt gemessen, nachdem diese ausgepresst oder filtriert und zentrifugiert wurden.

- Faserfraktionierung:

Die Fraktionierung der grafischen und braunen Altpapiere wurde in dieser Untersuchung mit dem Haindl-McNett-Gerät gemäß ZM V/1.4/86 (gleichzeitige Bestimmung des Gehalts an Splintern und Faserfraktionen) durchgeführt. Es wurden die Schlitzplatte mit 150 µm Schlitzweite und die Siebe R 30, R 50, R 100 und R 200 verwendet.

In den vorangegangenen Untersuchungen wurde zur Faserfraktionierung der braunen Sorten (1.02, 1.04 und 4.03) das Brecht-Holl-Gerät verwendet. Dabei wurde der Gehalt an Stippen gemäß ZM V/18/62 unter Verwendung einer Lochplatte mit 0,7 mm Lochdurchmesser bestimmt sowie eine Fraktionierung gemäß ZM V/1/66 mit den Sieben 16 und 50 durchgeführt.

- Makro-Stickygehalt:

Die Bestimmung des Makro-Stickygehalts erfolgte gemäß INGEDE-Methode 4

2.5.4 Optische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften sind besonders für die Deinkingware 1.11 von Interesse und wurden nach dem Flotationsdeinkingverfahren in Anlehnung an INGEDE-Methode 11 durchgeführt. Um den Vergleich zu früheren Untersuchungen zu ermöglichen, wurde zur Flotation die PTS-Zelle verwendet. Aussagen zu den optischen Eigenschaften können durch Parameter wie z. B. Weißgrad (R_{457}), Hellbezugswert (Y), L^* -, a^* -, b^* -Werte oder ERIC-Wert getroffen werden. Der Weißgrad wurde nach ISO 3688-99 bestimmt.

2.5.5 Festigkeitseigenschaften

Die Messung der Festigkeitseigenschaften (Reißlänge, Weiterreißarbeit und Berstfestigkeit) aller untersuchten Altpapiersorten wurde anhand von Laborblättern mit einem durchschnittlichen Flächengewicht von 80 g/m² nach DIN-Normen durchgeführt:

- Reißlänge:

Papierbahnen und Papierbögen werden bei ihrer Weiterverarbeitung am häufigsten auf Zug beansprucht. Um diese Beanspruchungen im Labor zu simulieren, wurden 15 mm breite Papierstreifen in Zugprüfmaschinen bis zum Bruch gedehnt und die dafür notwendige Kraft als Bruchkraft gemessen. Um die Festigkeit unterschiedlich schwerer Papiere miteinander vergleichen zu können, wurde die Zugfestigkeit normiert auf die flächenbezogene Masse in Kilometer Reißlänge angegeben. Unter Reißlänge versteht man diejenige theoretische Länge einer konstant breiten Papierbahn, bei der das Papier infolge des Eigengewichts am Aufhängepunkt abreißen würde. Sie kann für Primärfaserstoffe von 2,5 km für Holzschliff bis zu 12 km für gemahlene ungebleichte Nadelholzsulfatzellstoff gehen. Der Zugversuch wurde gemäß DIN EN ISO 1924/2-95 durchgeführt, die Angabe der Reißlänge erfolgte gemäß DIN 53 112.

- Weiterreißarbeit:

Die Weiterreißarbeit (WRA) nach Brecht-Imset kennzeichnet den Widerstand, den ein eingerissenes Papier dem Weiterreißen entgegengesetzt. Dies wird in hohem Maße von der Länge der Fasern beeinflusst, da die Faser in der Regel nicht reißt, sondern der Riss sich entlang der Faser fortpflanzt. Zur Bestimmung der WRA wurde die DIN 53115-77 angewandt.

- Berstfestigkeit:

Die Berstfestigkeit, hauptsächlich ein Prüfparameter für Verpackungspapiere, ist ein Summenparameter, der Zugfestigkeit, Dehnfähigkeit und Biegesteifigkeit einer Probe bewertet. Durch die Art der Krafteinleitung entsteht ein mehrachsiger Spannungszustand. Zur Messung der Berstfestigkeit wurde eine kreisrunde Papier- oder Pappprobe mittels einer elastischen Membran zum Platzen gebracht und der dafür erforderliche Druck gemessen. Die Durchführung erfolgte nach Mullen (DIN 53141).

Flach-, Ring- und Streifenstauchwiderstand sind relevante mechanische Eigenschaften von Verpackungspapieren bzw. Wellpappenrohpapieren. Daraufhin wurden bei den braunen Altpapiersorten (1.02, 1.04 und 4.03) weitere Messungen der Festigkeitseigenschaften (RCT, SCT und CMT) anhand von Laborblättern mit einem durchschnittlichen Flächengewicht von 130 g/m² und einer mittleren Dicke der Laborblätter von 217 µm nach den entsprechenden DIN-Normen durchgeführt:

- Ringstauchwiderstands (RCT):

RCT ist eine Methode zur Messung der Stauchfestigkeit. Der Widerstand, den ein Papierstreifen dem Stauchen entgegensetzt, ist entscheidend für die Festigkeit des Endprodukts, z. B. einer Pappschachtel. Die Bestimmung des RCT erfolgte gemäß DIN 53134-05.

- Streifenstauchwiderstand (SCT auch SSW):

SCT ist ebenfalls eine Methode zur Messung der Stauchfestigkeit. Die Durchführung erfolgte gemäß DIN 54518-04.

- Flachstauchwiderstands (CMT):

Bei der Untersuchung des CMT wurde ein labormäßig gewellter Papierstreifen zwischen zwei parallelen Platten senkrecht zur Welle gestaucht, um seine Eignung als Welle in Wellpappen zu beurteilen. Die Formänderung der Welle wirkt bei dieser Belastungsart schockdämpfend. Versagen tritt ein, wenn die Wellenflanken zusammenbrechen. Die Messung des Flachstauchwiderstands erfolgte gemäß DIN EN ISO 7263-95 als CMT 30.

2.5.6 Chemische Inhaltsstoffe

Aufgrund der aufwendigen Probenvorbehandlung zur Bestimmung von z. B. OX und PCP sowie der erwarteten niedrigen Belastung mit diesen Substanzen wurden diese Analysen an Mischproben durchgeführt. Zur Analyse der Altpapiersorte 1.11 in loser Lieferform wurde je aus den Proben einer Papierfabrik eine Mischprobe hergestellt. Insgesamt wurden 11 Proben der Altpapiersorte 1.11 in loser Lieferform analysiert. Zur Analyse der Altpapiersorten 1.11, 1.02, 1.04 und 4.03 in Ballenlieferform wurde je Lieferung und Altpapiersorte eine Mischprobe hergestellt. Insgesamt wurden sieben Lieferungen 1.11, jeweils neun Lieferungen 1.02 und 1.04 sowie zwei Lieferungen 4.03 analysiert.

Die Bestimmung der chemischen Inhaltsstoffe des Altpapiers erfolgte nicht an einzelnen Papiermustern, sondern an den Weißband-Filtraten der Stoffsuspensionen, da sie gut homogenisiert und für die Probenahme z. B. eines Altpapierballens repräsentativ sind. Gemessen wurden:

- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB):

Um das über Altpapier eingebrachte CSB-Potential abschätzen zu können, wurde im Filtrat der über Weißbandfilter entwässerten Suspension (aus Altpapier und Frisch- bzw. Leitungswasser) der CSB nach DIN 38409-T41-80 bestimmt [48]. Durch Normierung auf die Zerfaserungsdichte wurde der spezifische chemische Sauerstoffbedarf in kg O₂/t Altpapier berechnet.

- Organische Halogenverbindungen (OX):
Zur Bestimmung der OX-Gehalte in Papier und Pappe wurde die von der PTS erarbeitete Methode RH 012/90 angewandt. Die Nachweisgrenze für die OX-Bestimmung in Faserstoffen liegt bei 30 mg/kg TS.
- Pentachlorphenol (PCP):
Um den Vergleich zu vorangegangenen Untersuchungen zu ermöglichen, musste die Bestimmung des Gehaltes an PCP abweichend zur heutigen Bestimmung im Kaltwasserextrakt (KWE) nach dem damaligen Verfahren im Methanolextrakt erfolgen.

Bestimmung mittels Methanolextrakt (keine aktuelle Norm):
Zur Bestimmung des Gehalts an PCP wurde damals die zerkleinerte Faserstoffprobe mit Methanol 24 Stunden bei Raumtemperatur extrahiert. Der methanolische Extrakt wurde alkalisch gestellt und das Methanol anschließend im Rotationsverdampfer vollständig verdampft. Der Rückstand wurde in Wasser aufgenommen, mit Schwefelsäure angesäuert und die Lösung durch eine Festphasen-Extraktion mit Phenyl-Siloxan-Einwegsäulen gereinigt und angereichert. Das Hexaneluat der Trennsäule wurde in eine Kaliumcarbonatvorlage eingeleitet und intensiv vermischt. Das in der Kaliumcarbonatvorlage gelöste Phenolat wurde durch Zugabe von Acetanhydrit verestert und das derivatisierte PCP durch Ausschütteln in Hexan gelöst. Der im Hexan gelöste PCP-Ester wurde mit dem Gaschromatograph 3400 CX mit Elektroneneinfangdetektor (ECD) der Firma Varian quantifiziert. Heute erfolgt die Bestimmung mittels Kaltwasserextrakt gemäß DIN EN ISO 15320.
- Di-isopropylnaphthalin (DIPN):
Die Bestimmung von DIPN erfolgte gemäß DIN EN ISO 14719:05.
- Phthalate:
Die Bestimmung erfolgte im Aceton Extrakt mittels Gaschromatograph (GC)/ Massenspektrometer (MS).

2.6 Versuchsdurchführung

Ein zentraler Punkt der Versuchsdurchführung war die Herstellung einer homogenen Stoffprobe anhand der gezogenen Bohrkerne und der losen Ware aus der die notwendigen Stoffansätze zur vollständigen Zerfaserung entnommen werden konnten. Bei der Versuchsdurchführung musste einerseits bei der Probenvorbereitung und Auswahl der Messverfahren darauf geachtet werden vergleichbare Ergebnisse zu früheren Untersuchungen zu erhalten. Andererseits beeinflussen bestimmte Probenaufbereitungsschritte die Anwendung anderer Messverfahren. Das Einweichen zur stippenfreien Zerfaserung hat zum Beispiel Einfluss auf den CSB und das Deinkingverhalten. In den beiden ersten Fällen war dies notwendig und erwünscht, im letzteren Fall wirkt es sich negativ aus. Ein weiterer Punkt war der Ansatz, möglichst die jeweilige originäre Stoffcharakteristik der Altpapierprobe zu erhalten und die Untersuchungen für andere Labors nachstellbar zu machen.

Es wurden daher für grafische und braune Altpapiersorten verschiedene Versuchsabläufe vorgegeben. Sie ermöglichten einerseits einen zeitoptimierten Versuchsablauf und andererseits genügten sie den Anforderungen der angewandten Messverfahren.

In Abhängigkeit von der Altpapiersorte unterscheiden sich die Analysenkonzepte, da nur für Deinkingware (1.11) ein Flotationsversuch im Labormaßstab mittelere PTS-Zelle erforderlich ist. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen unterscheiden sich ebenfalls die Versuchsabläufe für grafische Altpapiere in loser Lieferform und Ballenware. In **Abb. 11** wird das Analysenkonzept für Deinkingware 1.11 in loser Lieferform und in **Abb. 12** für Ballenware beschrieben. Von jeder Probe wurde zunächst der Feuchtigkeitsgehalt bestimmt. Es folgte eine manuelle Sortierung, um die Menge an papierfremden Stoffen und unerwünschten Papieren und Pappen gravimetrisch zu bestimmen. Die Proben der losen Ware wurden im PMV-Technikumpulper bzw. Pilot Pulper von Voith mit 80° C heißem Wasser bei einer Stoffdichte von 4 % etwa 10 Minuten homogenisiert. Anschließend folgte eine Desintegration im Escher Wyss-Laborpulper (25 Minuten). Zur Untersuchung aller weiteren Qualitätseigenschaften wurde der Stoff bei ca. 0,5 % Stoffdichte in einem Verteilergerät (ZM V/6/61) bereitgestellt. Bei Ballenware der Altpapiersorte 1.11 entfiel aufgrund der geringeren Probenmenge der Homogenisierungsschritt im Pilot Pulper. An stattdessen erfolgte die Homogenisierung der 1.11er Ballenware direkt im Laborpulper. Alle nachfolgenden Schritte sind analog zum Analyseverfahren der losen Ware.

Für die braunen Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 4.03 kam ein ähnliches Analysenkonzept nach zum Tragen. Dieses Untersuchungskonzept (**Abb. 13**) unterscheidet sich von dem der Deinkingware dadurch, dass jeweils zwei Bohrkerne im Escher Wyss-Laborpulper homogenisiert wurden, bevor die Prüfung der Suspensionseigenschaften erfolgte und Blätter gebildet wurden. Die Bewertung der Deinkbarkeit durch Flotation entfiel, da diese Altpapiersorten keinem Deinkingprozess unterzogen werden. Die aussagekräftigen Analysenparameter sind die Zusammensetzung nach papierfremden Stoffen und unerwünschten Papieren und Pappen, die Zusammensetzung nach den enthaltenen Papiersorten sowie der Feuchtigkeitsgehalt der Altpapierprobe. Nach Homogenisierung und Zerfaserung sind der Aschegehalt, der Gehalt an grobdispersen klebenden Verunreinigungen (Makro-Stickys), der Schopper-Riegler-Wert und die Faserlängenverteilung von Interesse. Von den gebildeten Blättern sind die Festigkeitskenngrößen Reißlänge und Weiterreißarbeit bei 1.11 und SCT, RCT und CMT bei den restlichen Altpapiersorten von Relevanz. Außerdem ist bei der Deinkingware 1.11 das Flotationsverhalten wichtig und wird mit den Kenngrößen nach INGEDE-Methode 11 beschrieben.

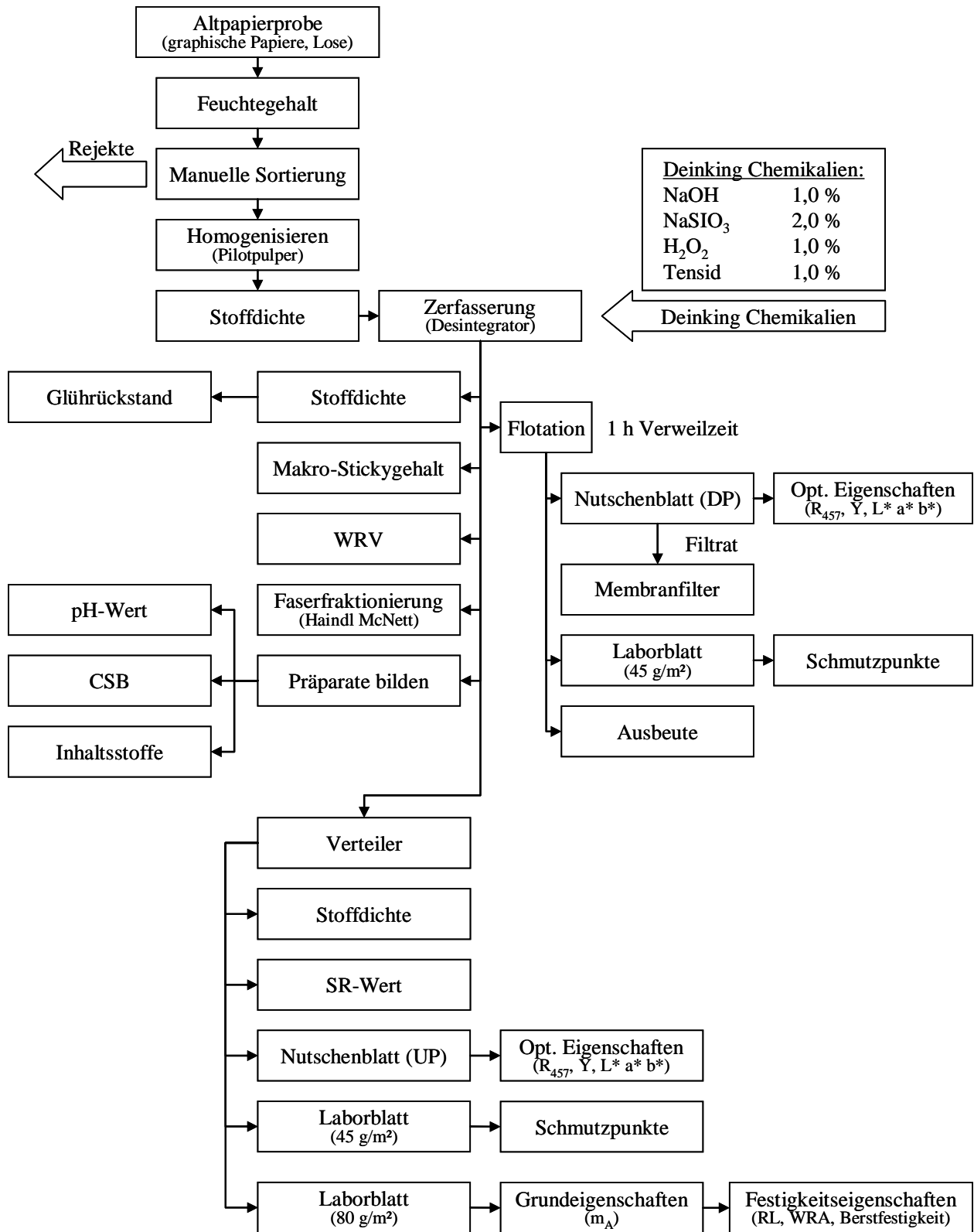


Abb. 11: Analysenkonzept für lose Ware der untersuchten grafischen Altpapiersorte 1.11

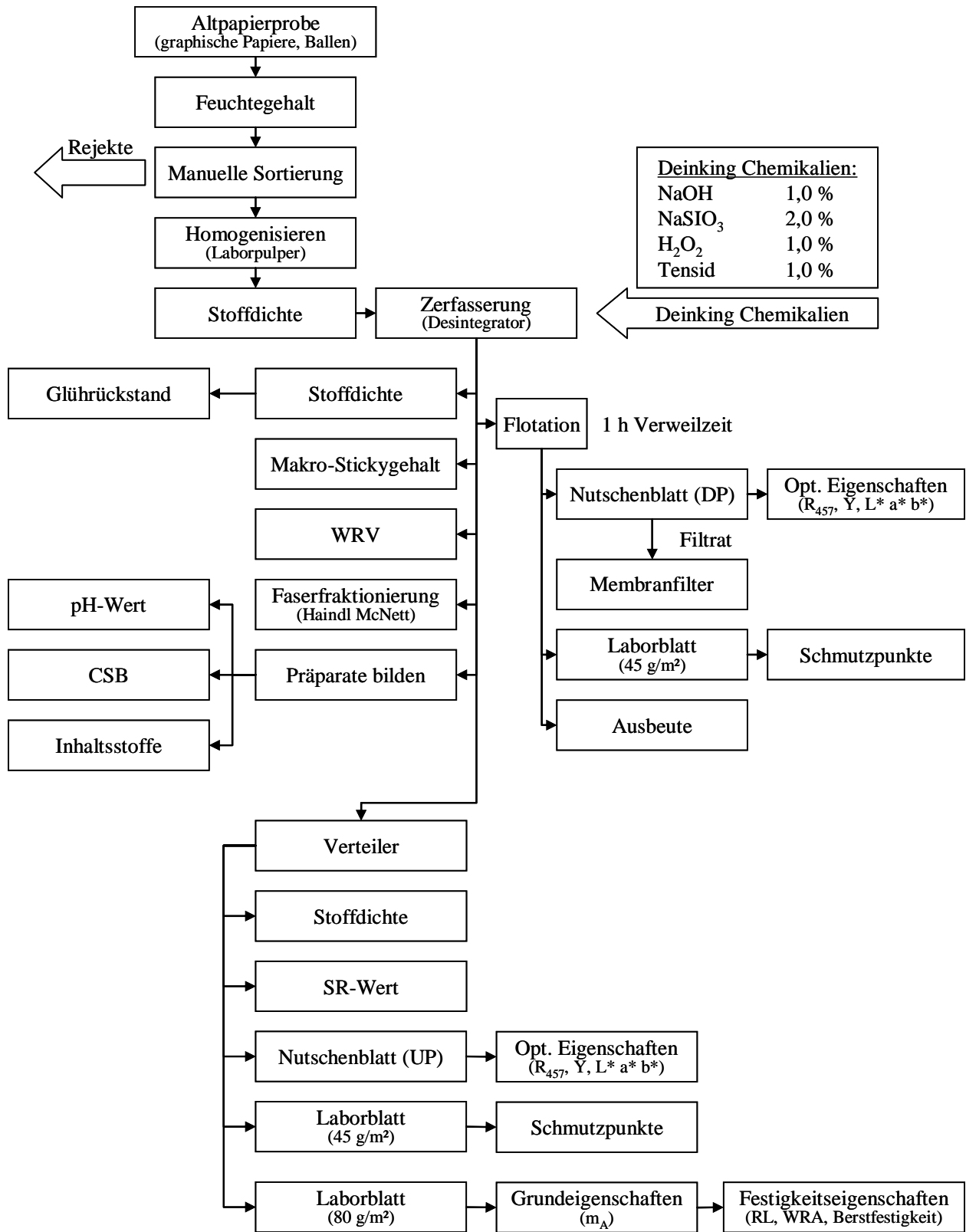


Abb. 12: Analysenkonzept für Ballenware der untersuchten grafischen Altpapiersorte 1.11

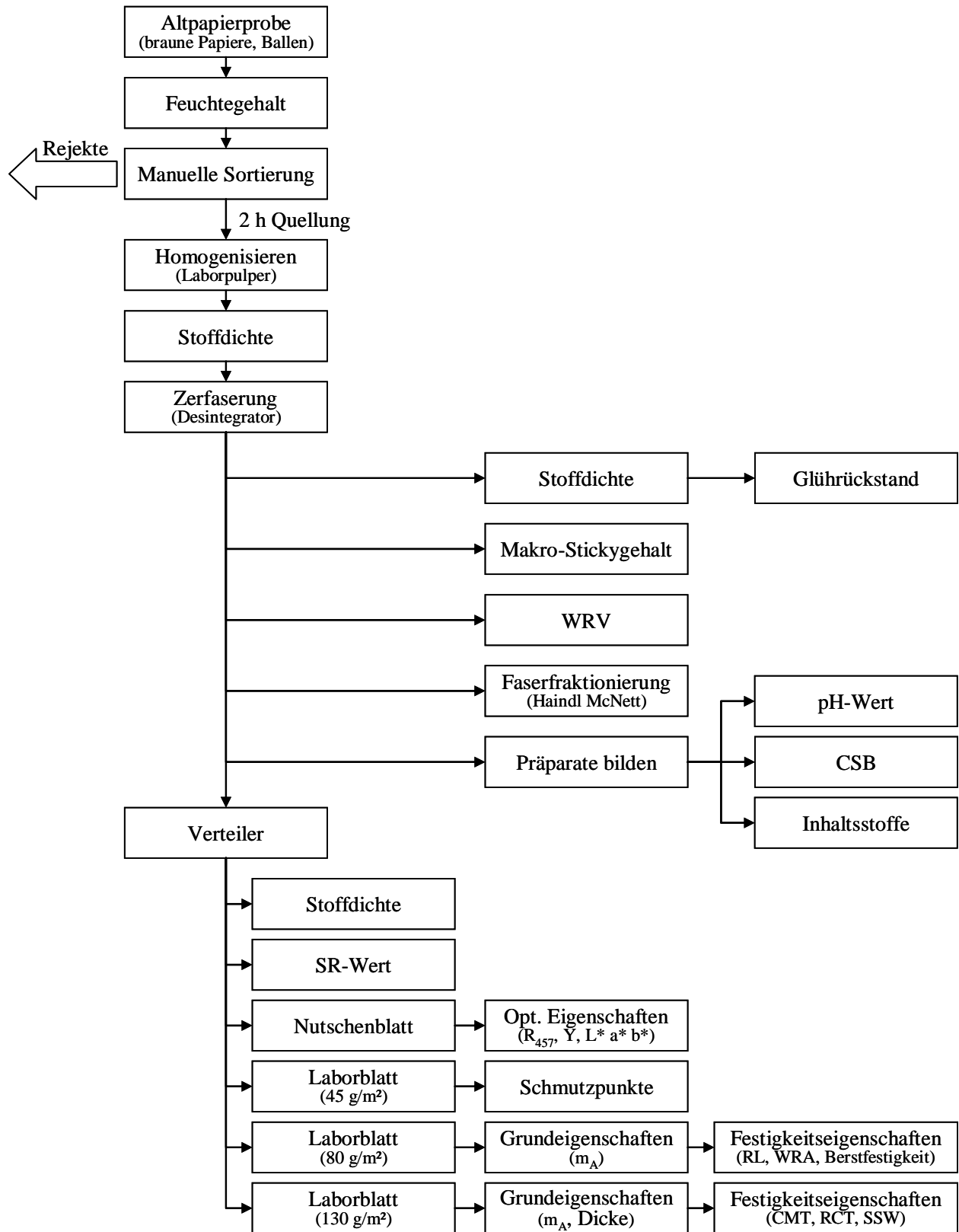


Abb. 13: *Analysenkonzept für Ballenware der untersuchten braunen Altpapiersorten (1.02, 1.04 und 4.03)*

Zur Abarbeitung dieses Arbeitspensums war ein fein abgestimmter Arbeitsplan mit Trockensortierung, Homogenisierung, Desintegration mit und ohne Flotation, Laborblattbildung, chemischen Filtratanalysen und Papierprüfung der Laborblätter notwendig.

In **Tabelle 3** sind die untersuchten Qualitätsparameter für grafische und braune Altpapiere (AP) aufgeführt. Diese wurden bereits im Kapitel 2.5 näher erläutert.

Tabelle 3: Übersicht der untersuchten Qualitätsparameter

<i>Abk.</i>	<i>Parameter</i>	<i>Grafische AP-Sorten</i>	<i>Braune AP-Sorten</i>
Grundeigenschaften			
	Feuchtigkeitsgehalt	X	X
	Zusammensetzung:	X	X
VPK	Verpackungspapiere und Karton	X	X
GP	Grafische Papiere	X	X
U/SPP	Ungeeignete/sonstige Papiere und Pappen	X	X
PFS	Papierfremde Stoffe	X	X
Suspensionseigenschaften			
Asche	Aschegehalt 575° C, 900° C (auch Glührückstand)	X	X
EWV	Entwässerungsverhalten (Schopper-Riegler-Wert)	X	X
WRV	Wasserrückhaltevermögen	X	X
Sp150	Splittergehalt (// 150 µm), Haindl-McNett	X	X
R30	Rückstand 30er Sieb, Haindl-McNett	X	X
R50	Rückstand 50er Sieb, Haindl-McNett	X	X
R100	Rückstand 100er Sieb, Haindl-McNett	X	X
R200	Rückstand 200er Sieb, Haindl-McNett	X	X
D200	Durchgang 200er Sieb, Haindl-McNett	X	X
Stickys	Makro-Stickygehalt, massenbezogene Fläche	X	X
	Makro-Stickygehalt, massenbezogene Anzahl	X	X
Optische Eigenschaften			
SMZpkt	Schmutzpunkte	X	X
R ₄₅₇	Weiß/Weißgrad	X	X
Y	Hellbezugswert	X	X
L*	Farbmaßzahl im CIE – System, Helligkeit	X	X
a*	Farbmaßzahl im CIE – System, Grün (-) — Rot (+)	X	X
b*	Farbmaßzahl im CIE – System, Gelb (-) — Blau (+)	X	X
US	Undeinkter Stoff	X	
DS	Deinkter Stoff	X	
ERIC		X	
Ausbeute		X	
Grundeigenschaften und mechanische Eigenschaften			
m _A	Flächenbezogene Masse (80 g/m ² , 130g/m ²)	X	X, X
Dicke	Dicke (80 g/m ² , 130g/m ²)	X	X
RL	Reißlänge (80 g/m ²)	X	X
Berstf.	Berstfestigkeit (80 g/m ²)	X	X
WRA	Weiterreißarbeit (80 g/m ²)	X	X
RCT	Ringstauchwiderstand (130g/m ²)		X
CMT	Flachstauchwiderstand (130g/m ²)		X
SCT	Streifenstauchwiderstand (130g/m ²)		X
Chemische Inhaltsstoffe			
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf, initialer spezifischer	X	X
OX	Organische Halogenverbindungen	X	X
DIPN	Di-isopropyl-naphthalin	X	X
PCP	Pentachlorphenol	X	X
	Phthalate	X	X

3 Ergebnisse der in Papierfabriken untersuchten Altpapiersorten

Der Altpapierverbrauch der deutschen Papierindustrie war über die Jahre 2007-2009 relativ konstant (s. Abb. 6). Daraufhin wurden alle im Laufe der Projektlaufzeit von 2007-2010 betrachteten Qualitätsparameter als Mittelwerte aus den untersuchten Lieferungen je Altpapiersorte mit der Bezeichnung für das Jahr 2010 dargestellt.

Die Altpapiersorte 1.11 wird hauptsächlich zur Herstellung grafischer Papiere verwendet und im Folgenden auch als „grafisches Altpapier“ oder „Deinkingware“ bezeichnet. Außerdem wurden zur Ergebnisdarstellung im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungen in den Jahren 1984-1999 die Ergebnisse aus der Untersuchung von Ballenware (B) und loser Ware (L) der Altpapiersorte 1.11 für das Jahr 2010 als Mittelwert zusammengefasst und mit der Bezeichnung 1.11 MW (B+L) dargestellt.

Die Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 4.03 finden vorwiegend bei der Herstellung von Verpackungspapieren und Kartonagen Verwendung. Im Weiteren werden sie auch als „braune Altpapiersorten“ bezeichnet.

3.1 Feuchtigkeitsgehalt

Ein zu hoher Feuchtigkeitsgehalt des Altpapiers begünstigt Fäulnis und Schimmelbildung und führt so neben Geruchsbelästigung auch zu Substanzverlust und zur Beeinträchtigung verschiedener Eigenschaften der daraus gefertigten Papiere und Pappen. Laut DIN EN 643 darf der maximale Feuchtigkeitsgehalt 10 % betragen.

Der Feuchtigkeitsgehalt der untersuchten Altpapiersorten 1.11 und 4.03 liegt im Jahr 2010 unterhalb des 10 % Limits und ist im Vergleich zu den Untersuchungen im Jahr 1999 gesunken (**Abb. 14**). Für die Altpapiersorten 1.02 und 1.04 ist der Feuchtigkeitsgehalt im Vergleich zu den Untersuchungsergebnissen der Vorjahre ebenfalls gesunken und liegt heute knapp (1 %-Punkt) über dem Limit der DIN EN 643. Im Durchschnitt über alle Altpapiersorten ist der Feuchtigkeitsgehalt innerhalb der letzten Dekade um 3 %-Punkte gesunken.

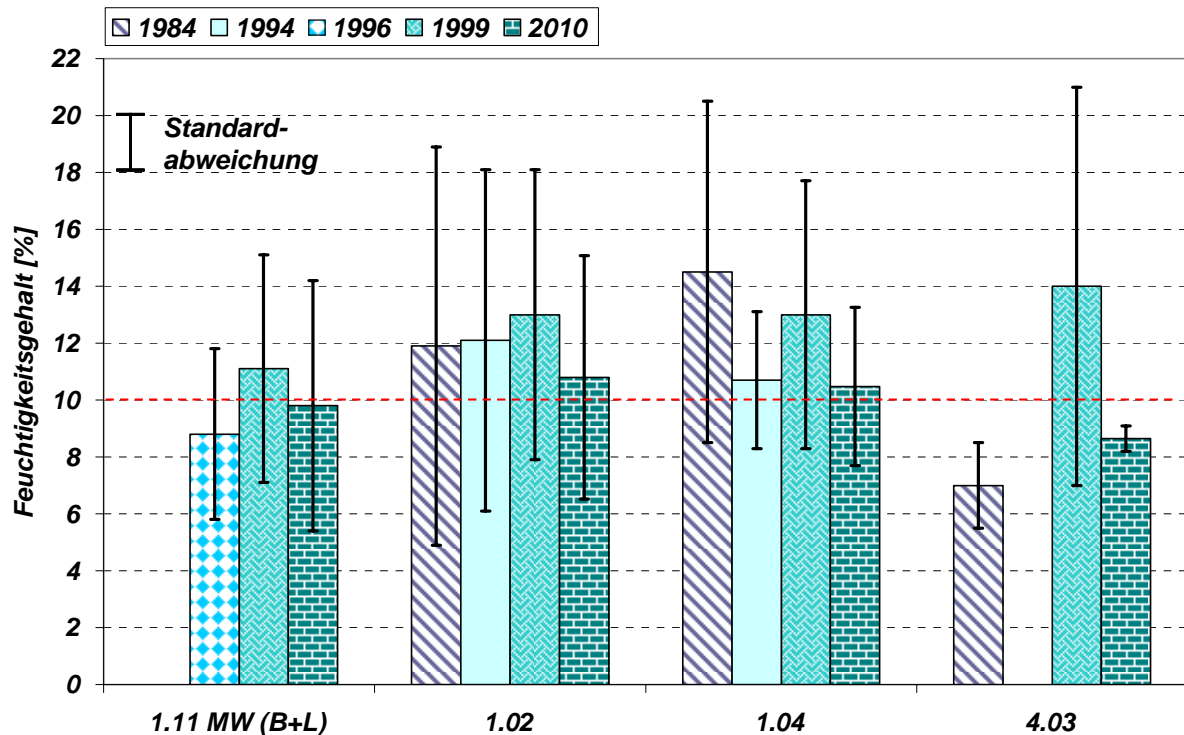


Abb. 14: Feuchtigkeitsgehalt der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010

3.2 Zusammensetzung

Die Ermittlung der Zusammensetzung der Altpapiersorten 1.11, 1.02, 1.04 und 4.03 nach unterschiedlichen Papier- und Pappesorten sowie papierfremden Stoffen erfolgte nach dem in Kapitel 2.5.2 vorgestellten Vorgehensweise.

3.2.1 Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.11

Deinkingware (1.11) wird vorwiegend zur Produktion von grafischen Papieren aber auch von Hygienepapieren eingesetzt. An die Spezifikation der DIN EN 643 sind weitere Anforderungen an die Altpapierzusammensetzung gestellt. Zum Beispiel ist für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier ein Hellbezugswert (Y) von mindestens 60 Punkten im Fertigprodukt erforderlich. Dies ist nur zu erreichen, wenn das eingesetzte Altpapier den Qualitätsanforderungen der DIN EN 643 entspricht, d. h. der Anteil an unerwünschten bzw. nicht-deinkbaren Papieren und Pappen (Summe an Verpackungspapieren und Kartonagen, ungeeigneten Papieren und Pappen) darf nicht überschritten werden, damit die Qualitätsanforderungen an die Fertigprodukte eingehalten werden können.

In Kapitel 2.3 sind die bereits die Definitionen laut DIN EN 643 beschrieben. Deinkingware (1.11 [D39]) sollte aus sortiertem grafischem Papier aus haushaltsnaher Erfassung mit einem Mindestanteil von je 40 % Zeitungen und Illustrierten bestehen. Der prozentuale Anteil von nicht-deinkbarem Papier sollte im Laufe der Zeit auf 1,5 % reduziert werden. Der jeweilige prozentuale Anteil ist zwischen Käufer und Verkäufer zu vereinbaren.

Zur Untersuchung der Deinkingware wurden in 11 Papierfabriken insgesamt 42 Lieferungen in loser Lieferform und in drei Papierfabriken sieben Lieferungen an Ballenware untersucht. Bei den ersten fünf Lieferungen an Ballenware wurden je Lieferung fünf Ballen beprobt, die zwei weiteren wurden mit je drei Ballen je Lieferung beprobt. Die Beprobung erfolgte nach den in Kapitel 2.4 vorgestellten Verfahren.

Die Ergebnisse aus der Untersuchung von Ballenware (B) und loser Ware (L) der Altpapiersorte 1.11 für das Jahr 2010 wurden als Mittelwert zusammengefasst. Deinkingware setzt sich gemäß **Abb. 15** zu 93,4 % aus grafischen Papieren zusammen, zu 4,9 % aus Verpackungspapieren und Kartonagen, zu 1,1 % aus ungeeigneten Papieren und zu 0,6 % aus papierfremden Stoffen. Die Summe der Kategorien Verpackungspapiere und Karton sowie ungeeignete Papiere stellt den Anteil an nicht-deinkbaren bzw. unerwünschten Papieren dar. Dieser beträgt 6 % und sollte gemäß DIN EN 643 im Laufe der Zeit auf 1,5 % reduziert werden. Papierfremde Stoffe sind der europäischen Standardsortenliste als unerwünschte Stoffe definiert und sollten nicht im Altpapier enthalten sein. Zu den unerwünschten Stoffen zählen unter anderem auch die nicht-deinkbaren Papiere.

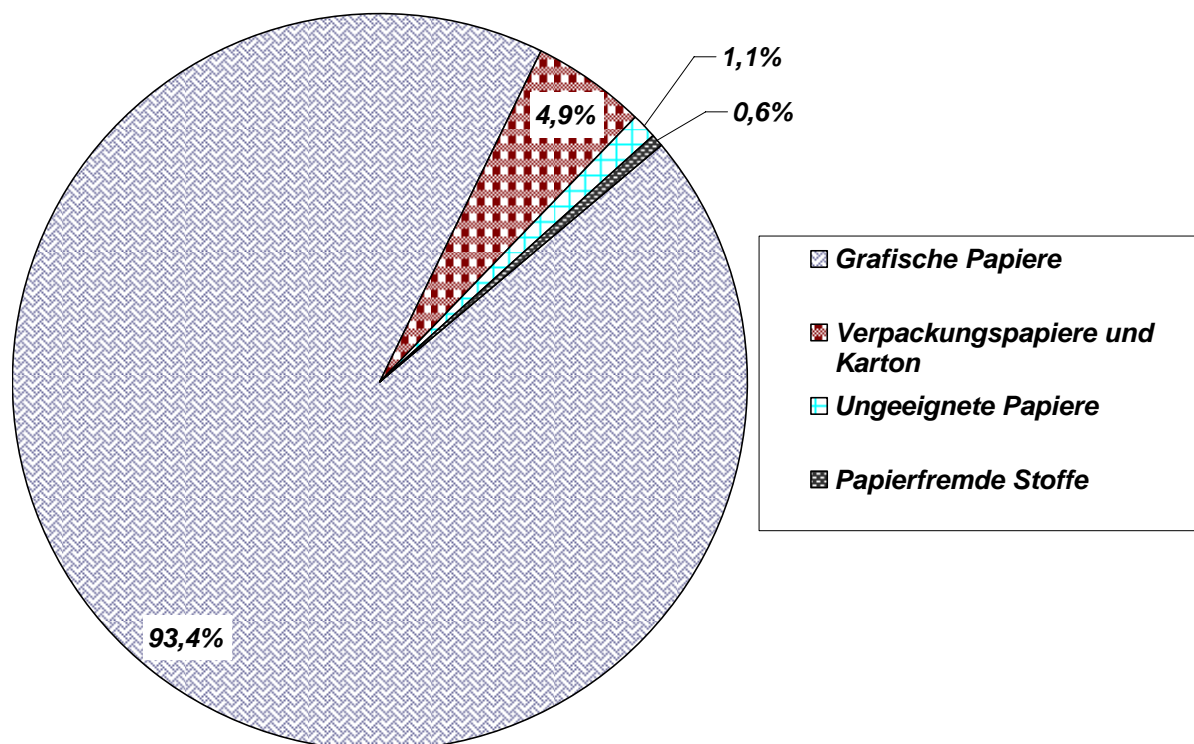


Abb. 15: Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.11 MW (L+B) (n = 49)

In **Abb. 16** ist die Zusammensetzung des Anteils grafischer Papiere (bezogen auf 100 Prozent) in der Altpapiersorte 1.11 dargestellt. Den größten Anteil machen dabei die Anteile an Zeitungen und zeitungähnlichen Beilagen sowie an gestrichenen Illustrierten und ähnlichen Beilagen mit 36 % aus. Der Anteil an ungestrichenen Illustrierten und ähnlichen Beilagen liegt bei 8 %. Rund 9 % bestehen aus Katalogen und 6 % sind holzfreie, weiße Papiere. Die verbleibenden 5 % setzen sich zu 3 % aus Büchern, zu jeweils knapp 1 % aus anderen holzhaltigen Papieren und weißen Briefumschlägen/Versandtaschen sowie zu jeweils 0,2 % Selbstdurchschreibepapieren und grauen/braunen Briefumschlägen/Versandtaschen zusammen.

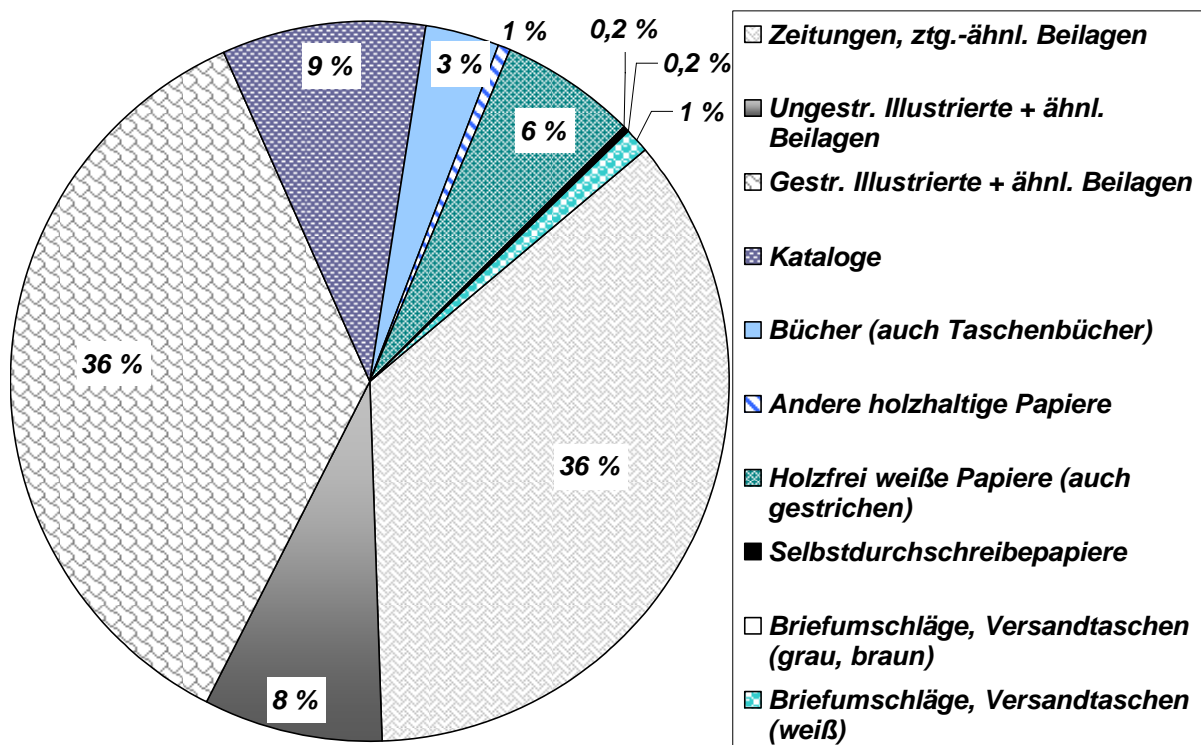


Abb. 16: *Zusammensetzung der grafischen Papiere bezogen auf den mittleren Gesamtanteil an grafischen Papieren der Altpapiersorte 1.11 (n = 49)*

Von insgesamt 49 Proben wurde bei 13 der untersuchten Proben eine ausführlichere Sortierung vorgenommen. Dabei wurde die Fraktion ungestrichene Illustrierte und ähnliche Beilagen in zwei einzelne Fraktionen unterteilt. Gleiches gilt für die Fraktion gestrichene Illustrierte und ähnliche Beilagen. Dabei war der Anteil an ungestrichenen Illustrierten zu ungestrichenen illustriertenähnlichen Beilagen 32:68 % und der Anteil an gestrichenen Illustrierten zu gestrichenen illustriertenähnlichen Beilagen 51:49 %.

Die Altpapiersorte 1.11 wird vorwiegend zur Produktion von grafischen Papieren (z. B. Zeitungsdruckpapier, SC- oder LWC-Papier) eingesetzt. Zur Herstellung dieser Papiere sind nicht alle der in der Deinkingware enthaltenen Papieren geeignet. Die Papiere und Pappen der Kategorien Verpackungspiere und Karton sowie ungeeignete Papiere und Pappen sind somit nicht für den Deinkingprozess geeignet. Da die in den beiden Kategorien enthaltene Papiere und Pappen einen negativen Einfluss auf den Deinkingprozess nach sich ziehen.

Die Kategorie Verpackungspapiere und Karton ist für das Deinking ungeeignet. In **Abb. 17** ist die Zusammensetzung nach den acht enthaltenen Fraktionen dargestellt. Bezogen auf den gesamten Anteil an Verpackungspapieren und Kartonagen beträgt der Anteil an grauen/brauen Kartonagen 33 %, an weißen Kartonagen 18 %, an weiß gedeckter Wellpappe 15 %, an grauen/brauen Wellpappen 11 % und an Vollpappe 5 %. Der Anteil an sonstigen Verpackungspapieren beträgt 7 %. Weitere 6 % bestehen aus Verpackungspapieren und 5 % aus gewachsen/nassfesten Verpackungen.

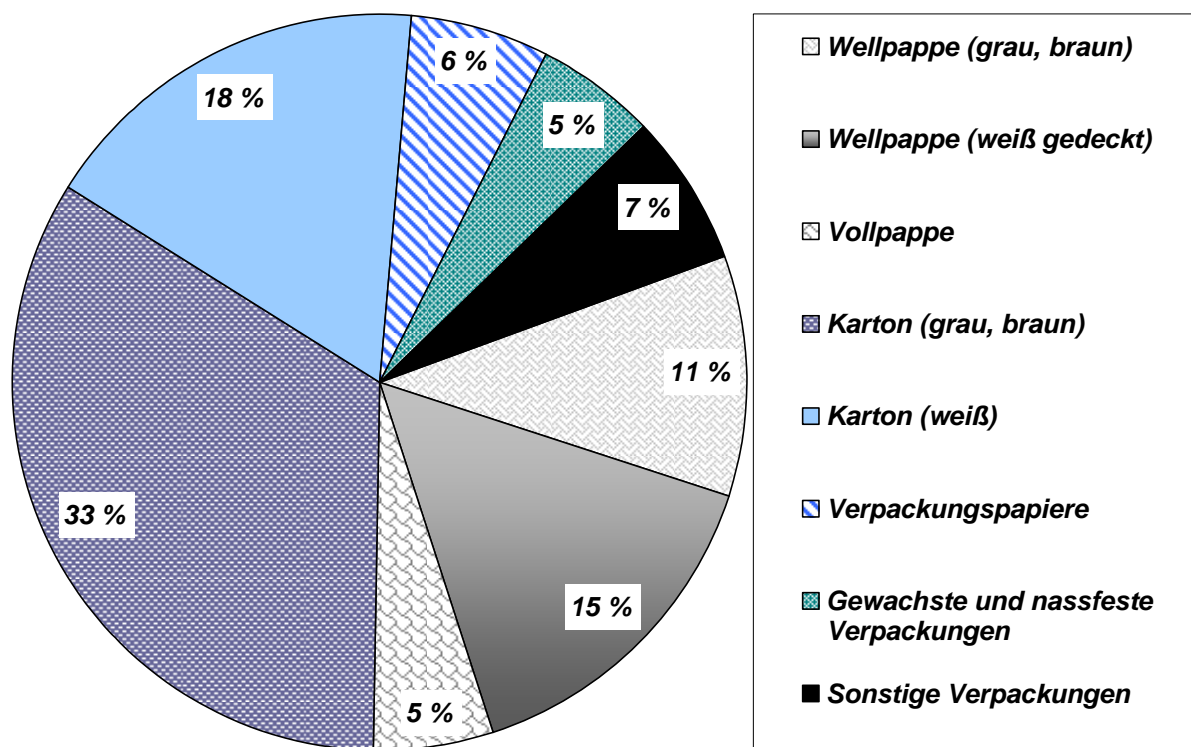


Abb. 17: *Zusammensetzung der Verpackungspapiere und Kartonagen bezogen auf den mittleren Gesamtanteil an Verpackungspapieren und Karton der Altpapiersorte 1.11 (n = 49)*

Bei der Kategorie Verpackungspapiere und Karton wurde wie bei den grafischen Papieren eine weitere Unterteilung der Fraktionen bei 13 von insgesamt 49 Proben vorgenommen. Dabei wurde die Fraktion stark bedruckte Verpackungspapiere aufgenommen. Bei den stark bedruckten Verpackungspapieren handelt es sich überwiegend um Kartonagen (z. B. Lebensmittelverpackungen). Bei dieser weiteren Unterteilung ist der Anteil an stark bedruckten Verpackungspapieren mit 37 % am stärksten vertreten. Es ist davon auszugehen, dass die Teilfraktion stark bedruckte Verpackungen je nach Eigenschaft auch anteilmäßig in die anderen Fraktionen eingruppiert wurde (vgl. Abb. 17).

Die Kategorie ungeeignete Papiere und Pappen ist in die Fraktionen Hygienepapiere, Tapeten, durchgefärbte Papiere und Verbundstoffe unterteilt. Diese Kategorie zählt wie die Kategorie Verpackungspapiere und Karton zu den nicht-deinkbaren bzw. unerwünschten Papieren. Die sonstigen ungeeigneten Papiere machen den größten Anteil mit 38 % aus (**Abb. 18**), gefolgt von einem Anteil von 31 % an durchgefärbten Papieren, 27 % an Hygienepapieren und 4 % an Tapeten.

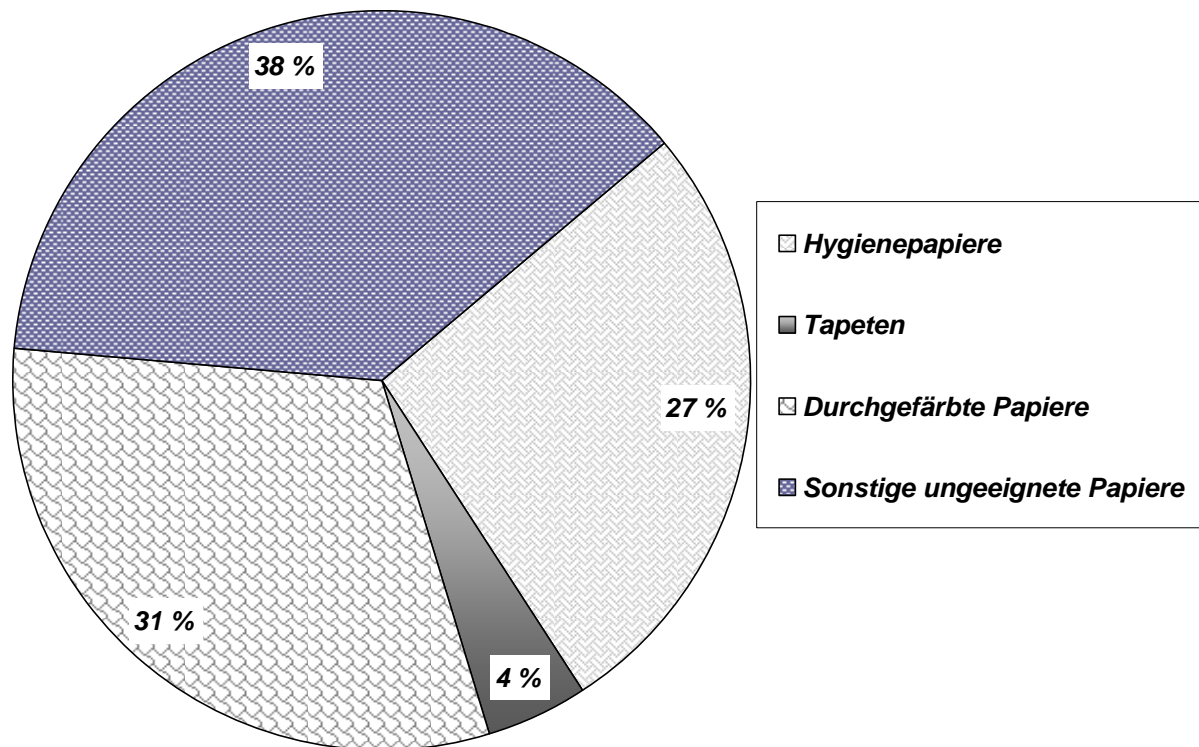


Abb. 18: *Zusammensetzung der ungeeigneten Papiere bezogen auf den mittleren Gesamtanteil an ungeeigneten Papieren der Altpapiersorte 1.11 (n = 49)*

Bei 13 von insgesamt 49 untersuchten Proben der Altpapiersorte 1.11 wurde die Kategorie ungeeignete Papiere zusätzlich in die Fraktion Verbundstoffe unterteilt. Etwa 1/10 der Kategorie ungeeigneter Papiere resultiert aus dem Anteil an Verbundstoffen.

Die in der Altpapiersorte 1.11 enthaltenen papierfremden Stoffe wurden in vier Fraktionen unterteilt. Knapp zwei Drittel der papierfremden Stoffe bestehen aus Kunststoffen (**Abb. 19**). Die Fraktion „Sonstiges“ macht ca. 20 % aus und beinhaltet z. B. Glas, organische Bestandteile und andere Materialien die nicht Papier oder Pappe sind. Jeweils 6 % der papierfremden Stoffe bestehen aus Holz und Metall.

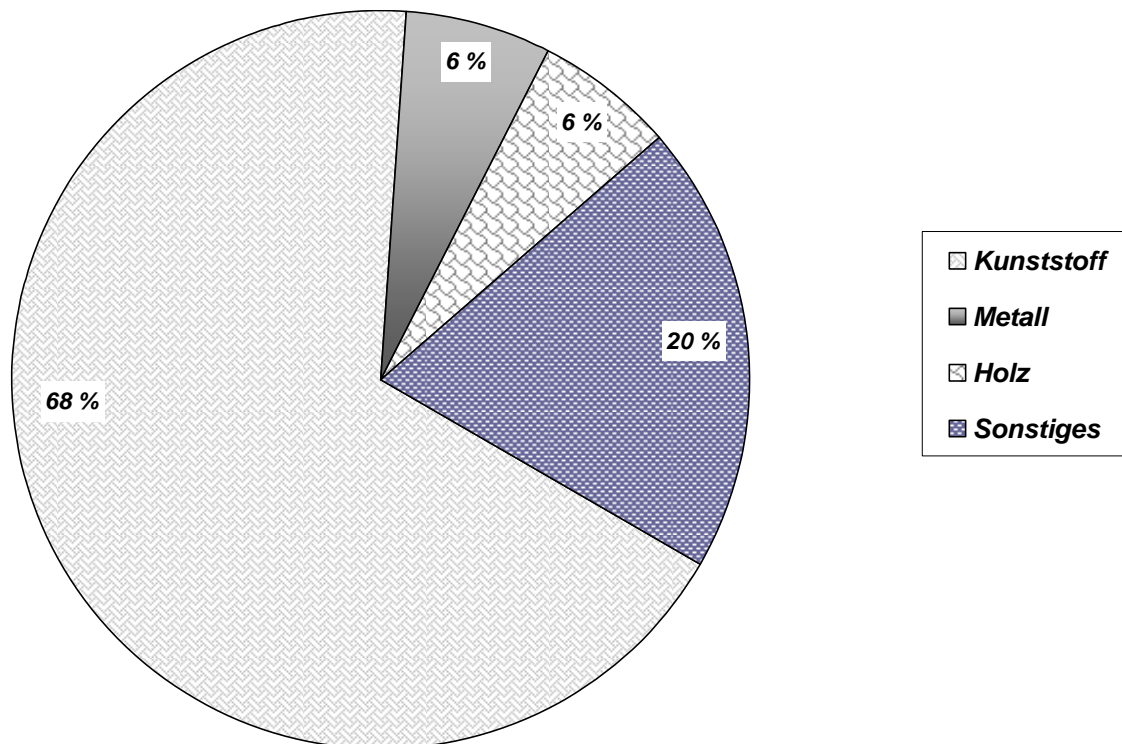


Abb. 19: *Zusammensetzung der papierfremden Stoffe bezogen auf den mittleren Gesamtanteil an papierfremden Stoffen der Altpapiersorte 1.11 (n = 49)*

Bei einer weiteren Unterteilung der Kunststofffraktion konnte festgestellt werden, dass 34 % den harten Kunststoffen und 66 % den weichen Kunststoffen zuzuordnen sind.

3.2.2 Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.02

Sortiertes, gemischtes Altpapier (1.02) wird größtenteils zur Herstellung von Verpackungspapieren und –pappen sowie Kartonagen verwendet. Nach DIN EN 643 wird die Altpapiersorte 1.02 als sortiertes, gemischtes Altpapier beschrieben, das eine Mischung verschiedener Papier- und Pappequalitäten, die maximal 40 % an Zeitungen und Illustrierten enthält. Beispielsweise wird 1.02 zur Herstellung von Wellpappenrohpapier eingesetzt. Dabei dienen die enthaltenen grafischen Anteile in dieser Sorte zur Volumenbildung und der Anteil an Verpackungspapieren liefert u. a. festigkeitsgebende Eigenschaften.

Die in **Abb. 20** dargestellte Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.02 repräsentiert Durchschnittswerte aus insgesamt neun untersuchten Lieferungen. Dabei wurden 45 Ballen beprobt (90 Bohrkerne). Der Anteil an grafischen Papieren beträgt 55 %. Die weiteren Anteile bestehen zu 39 % aus Verpackungspapieren und Kartonagen, zu 4 % aus papierfremden Stoffen und zu 2 % aus sonstigen Papieren. Die Kategorie sonstige Papiere setzt sich aus den Fraktionen Hygienepapiere, Tapeten, durchgefärbte Papiere und Verbundstoffe zusammen. Generell sollte Altpapier frei von papierfremden Stoffen sein.

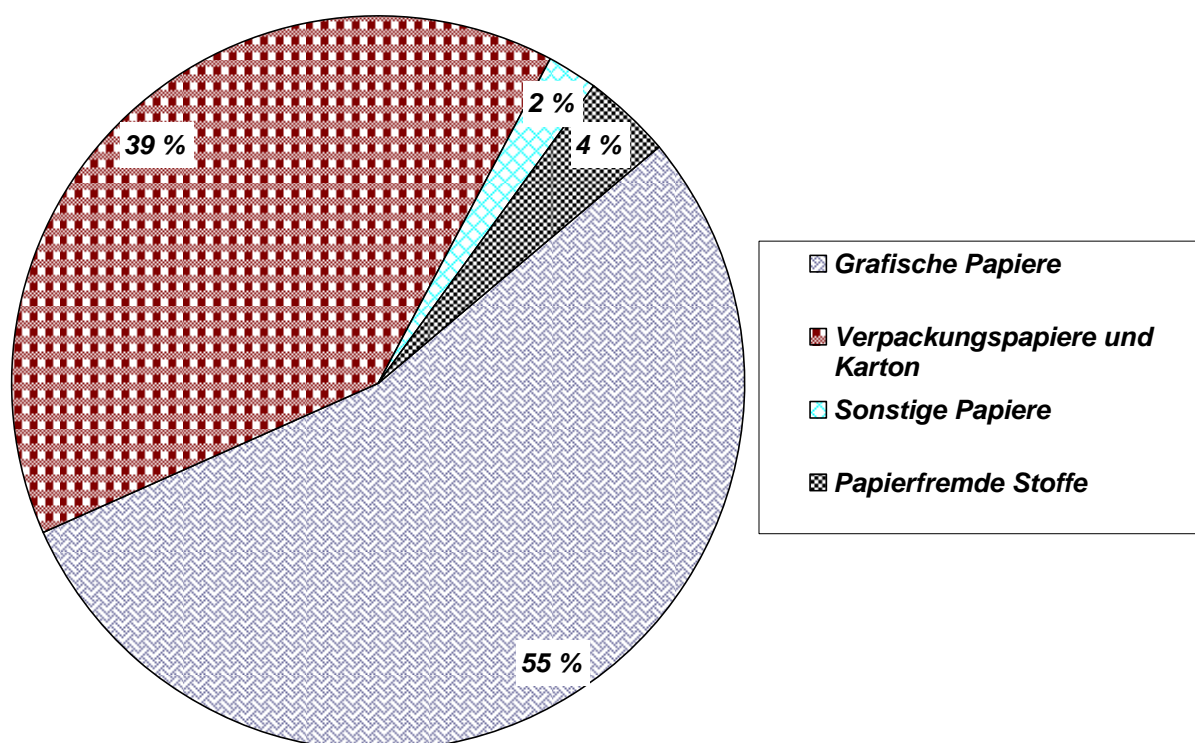


Abb. 20: Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.02 (n = 9)

Der Anteil von 55 % an grafischen Papieren der Altpapiersorte 1.02 ist für die einzelnen Fraktionen in **Abb. 21** dargestellt. Der größte Anteil besteht zu 30,3 % aus gestrichen illustriertenähnlichen Beilagen, dem kommt noch ein Anteil von 16,5 % an gestrichenen Illustrierten hinzu. Der zweitgrößte Anteil besteht zu 20,8 % aus Zeitungen und zeitung-ähnlichen Beilagen. Weiterhin sind 16 % an holzfreien, weißen Papieren, 6,1 % an Katalogen, 4,9 % an ungestrichenen illustriertenähnlichen Beilagen und 0,7 % an ungestrichenen Illustrierten sowie 2,3 % an anderen holzhaltigen Papieren enthalten. In einer Größenordnung von kleiner als 1,5 % sind 1,3 % an weißen Briefumschlägen/Versandtaschen, 0,5 % an Büchern, 0,4 % an grauen/braunen Briefumschlägen/Versandtaschen und 0,3 % an Selbstdurchschreibepapieren enthalten.

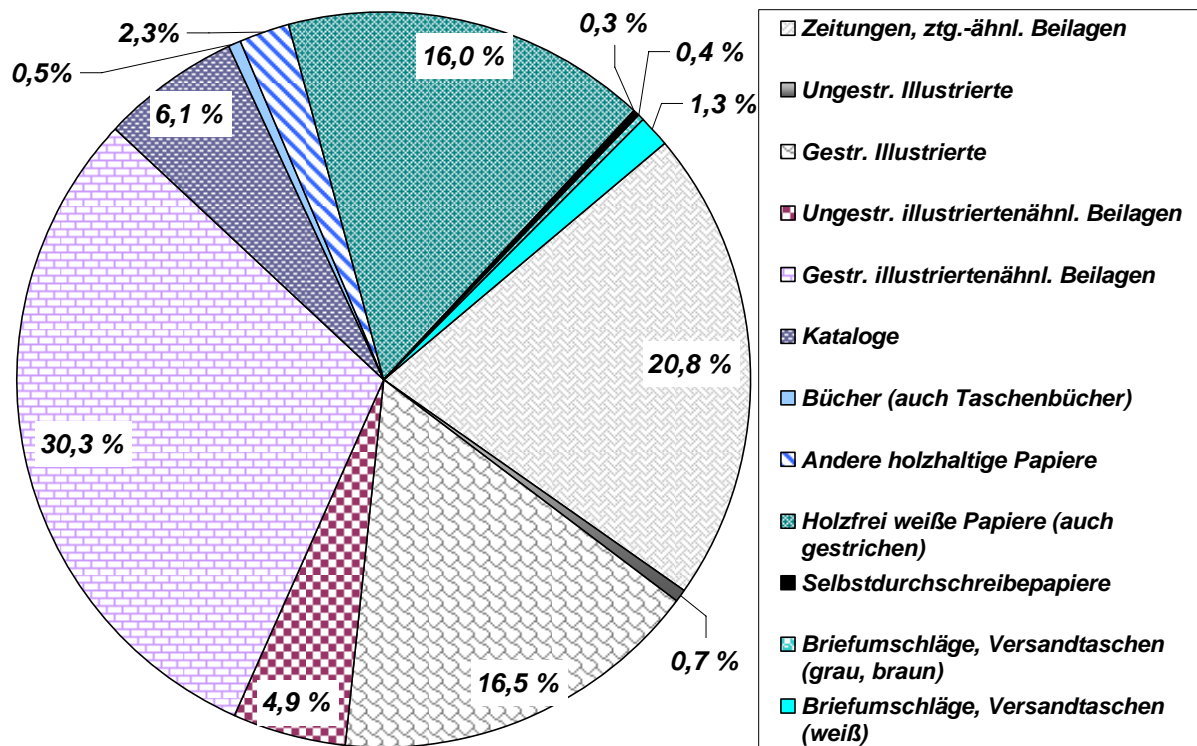


Abb. 21: Zusammensetzung der grafischen Papiere bezogen auf den mittleren Gesamtanteil an grafischen Papieren der Altpapiersorte 1.02 (n = 9)

Die Kategorie Verpackungspapiere und Karton setzt sich zu knapp 44 % aus grauen/braunen Wellpappen und knapp 22 % weiß gedeckter Wellpappe zusammen (Abb. 22). Der Anteil an stark bedruckten Verpackungen beträgt rund 16 %. Der Anteil an Kartonagen beträgt 12,3 %, davon sind 7,1 % graue Kartonagen, 3,4 % weiße und 1,8 % braune Kartonagen. Außerdem sind 5,2 % Verpackungspapiere, 0,8 % gewachste/nassfeste Verpackungen und 0,1 % Vollpappe enthalten.

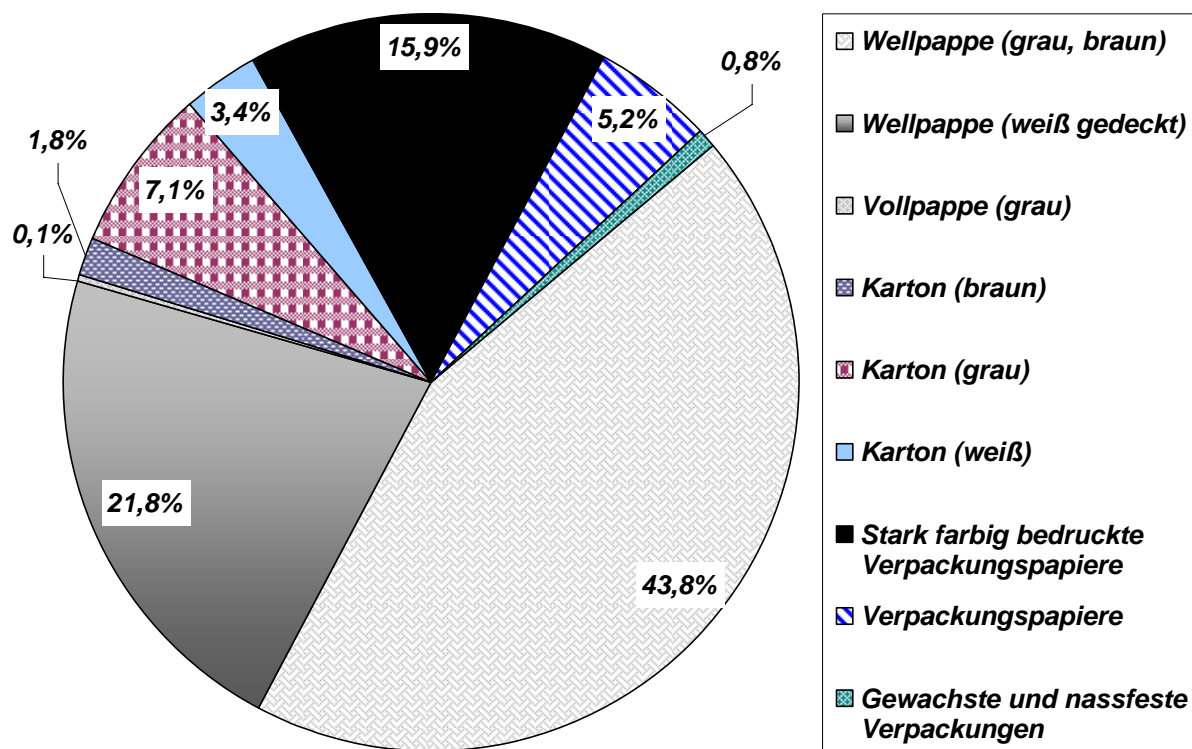


Abb. 22: Zusammensetzung der Verpackungspapiere und Kartonagen bezogen auf den mittleren Gesamtanteil an Verpackungspapieren und Karton der Altpapiersorte 1.02 (n = 9)

Die Kategorie sonstige Papiere und Pappen der braunen Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 4.03 setzt sich aus den Fraktionen Hygienepapiere, Tapeten, durchgefärbte Papiere und Verbundstoffe. Bei den braunen Sorten, die vorwiegend zur Herstellung von Kartonagen, Verpackungspapieren und -pappen eingesetzt werden, sind diese Papiere im Gegensatz zur Altpapiersorte 1.11 durchaus für den Recyclingprozess geeignet.

Über die Hälfte der sonstigen Papiere besteht aus Hygienepapieren (**Abb. 23**). Die zweite Hälfte besteht aus einem Anteil von 22 % an Verbundstoffen, 21 % an durchgefärbten Papieren und 2 % an Tapeten.

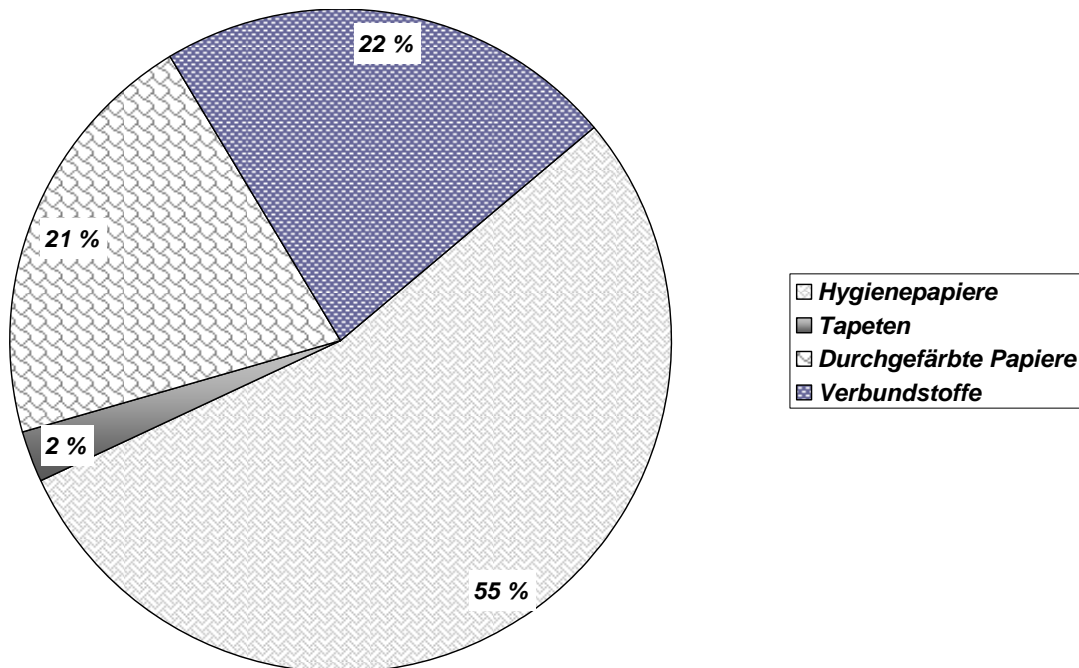


Abb. 23: *Zusammensetzung der sonstigen Papiere bezogen auf den mittleren Gesamtanteil an sonstigen Papieren der Altpapiersorte 1.02 (n = 9)*

Die knapp vier Prozent in der Altpapiersorte 1.02 enthaltenen papierfremden Stoffe setzen sich zu 45 % aus sonstigen Materialien (die nicht Papier oder Pappe sind, z. B. Glas, organische Bestandteile, etc.), zu 32 % aus weichen Kunststoffen, zu 12 % aus harten Kunststoffen, zu 6 % aus Holz und zu 5 % aus Metall zusammen (**Abb. 24**).

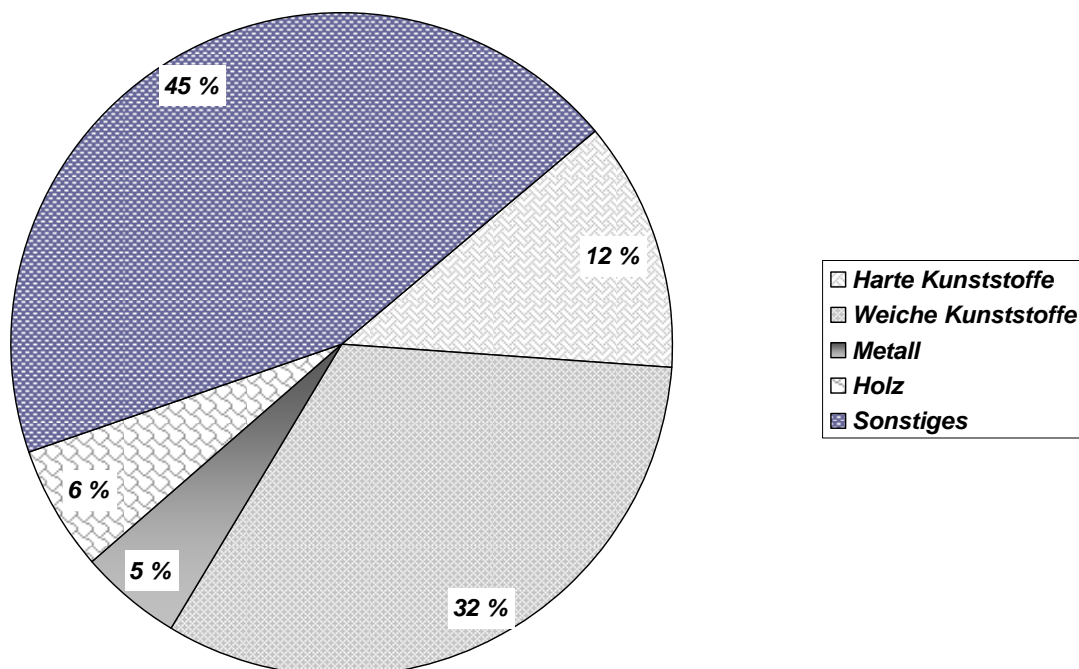


Abb. 24: *Zusammensetzung der papierfremden Stoffe bezogen auf den mittleren Gesamtanteil an papierfremden Stoffen der Altpapiersorte 1.02 (n = 9)*

3.2.3 Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.04

Nach den Vorgaben der DIN EN 643 sollte die Altpapiersorte Kaufhausaltpapier (1.04) aus gebrauchten Papier- und Kartonverpackungen, die mindestens 70 % Wellpappe enthält, Rest Vollpappe und Packpapier bestehen. Die Altpapiersorte 1.04 wird ebenso wie 1.02 zur Herstellung von Kartonagen, Verpackungspapieren und –pappen verwendet. Die Ergebnisse resultieren aus neun untersuchten Lieferungen aus denen jeweils fünf Ballen (insgesamt 45 Ballen; 90 Bohrkerne) beprobt wurden. Dabei sind rund 80 % der enthaltenen Papiere und Pappen der Kategorie Verpackungspapiere und Karton, 18 % den grafischen Papieren, 2 % den papierfremden Stoffen und 1 % den sonstigen Papieren zuzurechnen (**Abb. 25**). Grundsätzlich sollten im Altpapier keine papierfremden Stoffe enthalten sein.

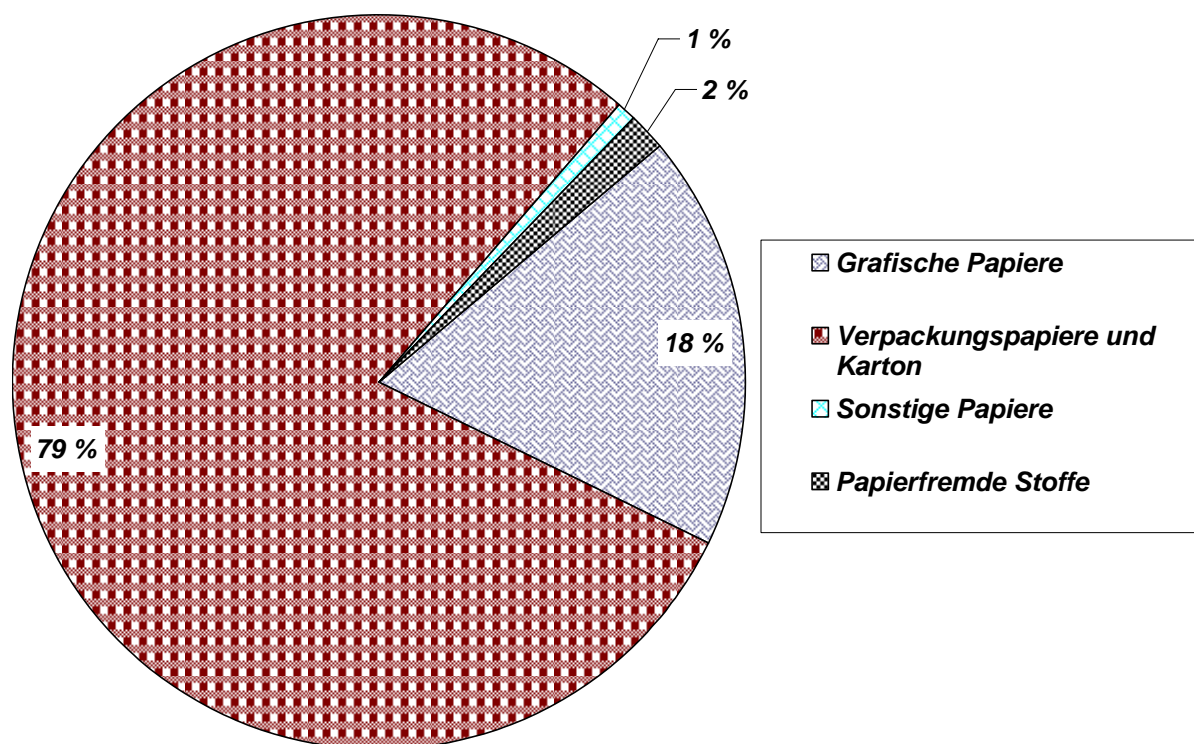


Abb. 25: Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.04 (n = 9)

Im Weiteren wird nur für die Kategorien grafische Papiere sowie Verpackungspapiere und Karton die Darstellung verfeinert. In **Abb. 26** ist die Zusammensetzung grafischer Papiere der Altpapiersorte 1.04 dargestellt. Der Anteil von 18 % an grafischen Papieren im Kaufhausaltpapier setzt sich aus 37 % aus holzfreien, weißen Papieren zusammen. In Summe sind 34,3 % gestrichene Illustrierte (davon sind 15 % gestrichene illustriertenähnliche Beilagen) und 8,7 % ungestrichene Illustrierte (davon sind 4 % ungestrichene illustriertenähnliche Beilagen) am grafischen Anteil der Altpapiersorte 1.04 enthalten. Der Anteil an Zeitungen und zeitungähnlichen Beilagen beträgt knapp 16 %. Der verbleibende Anteil von etwas über vier Prozent besteht zu 2,0 % aus Katalogen, zu 0,9 % aus Briefumschlägen/Versandtaschen (davon sind 0,55 % weiße und 0,35 % graue/braune Briefumschläge/Versandtaschen), zu 0,3 % aus anderen holzhaltigen Papieren, zu 0,2 % aus Selbstdurchschreibepapieren und zu 0,1 % aus sonstigen grafischen Papieren.

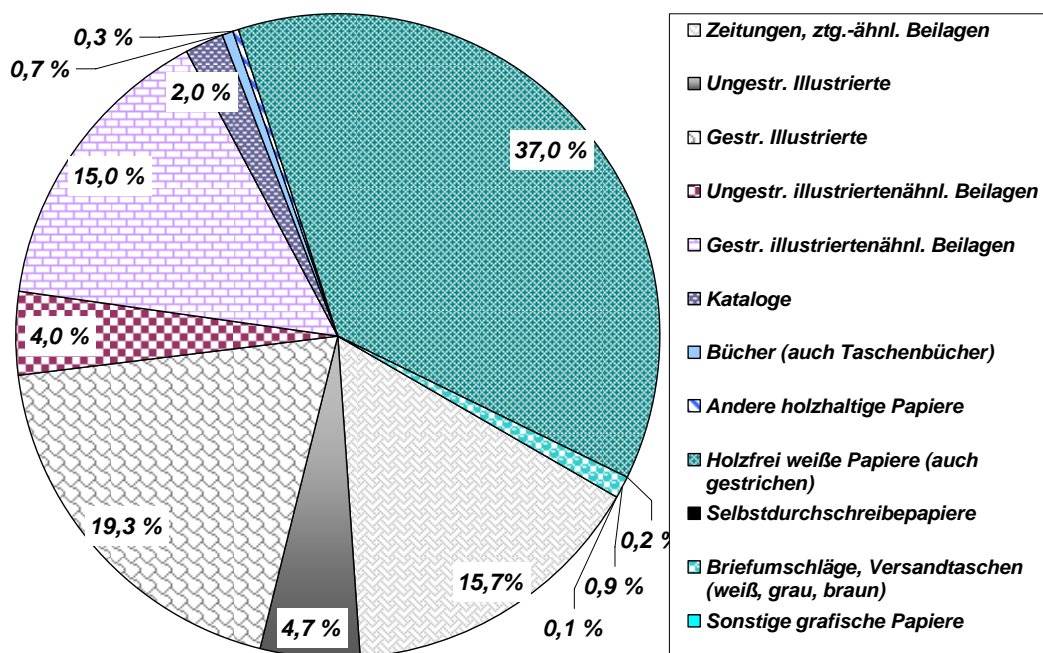


Abb. 26: Zusammensetzung der grafischen Papiere bezogen auf den mittleren Gesamtanteil an grafischen Papieren der Altpapiersorte 1.04 (n = 9)

Mehr als die Hälfte der in der Kategorie Verpackungspapiere und Karton enthaltenen Papiere und Pappen sind der Fraktion graue/braune Wellpappe (53,4 %) zugeordnet (Abb. 27). Der Anteil an weiß gedeckter Wellpappe beträgt 19,3 %. Insgesamt sind 11,7 % an Kartonagen (davon sind 8,4 % graue, 2,5 % braune und 0,8 % weiße Kartonagen) enthalten. Des Weiteren sind 6 % an stark bedruckten Verpackungspapieren, 4,8 % an Verpackungspapieren, jeweils 2,2 % an grauer und an brauner Vollpappe sowie 0,3 % an gewachsen/nassfesten Verpackungen enthalten.

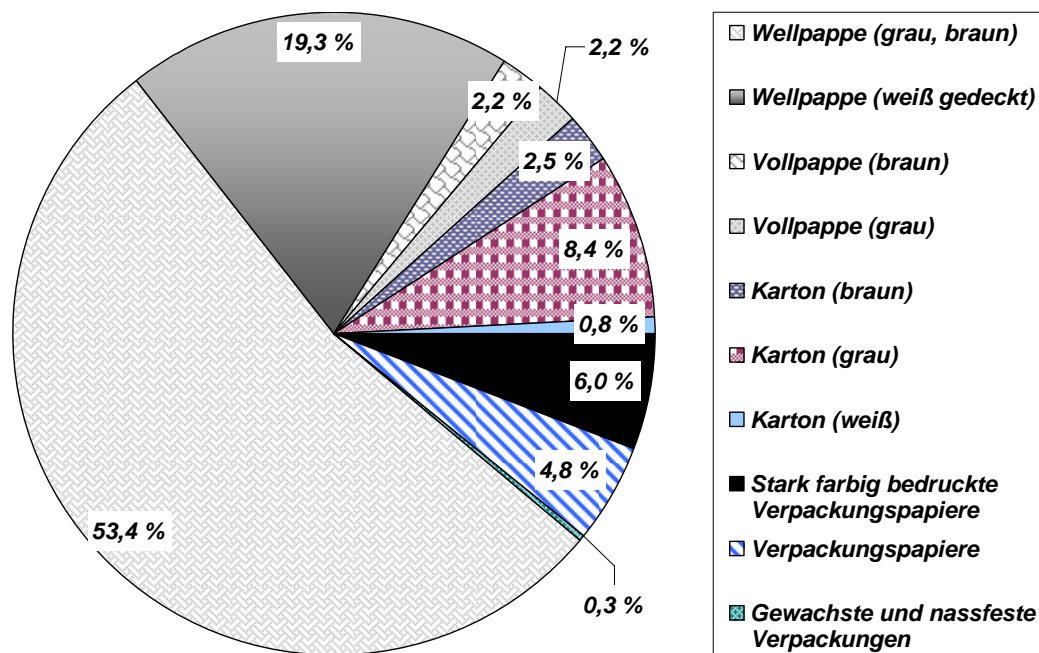


Abb. 27: Zusammensetzung der Verpackungspapiere und Kartonagen bezogen auf den mittleren Gesamtanteil an Verpackungspapieren und Karton der Altpapiersorte 1.04 (n = 9)

3.2.4 Zusammensetzung der Altpapiersorte 4.03

Die Altpapiersorte 4.03 ist in der Altpapiersortenliste in Gruppe 4 eingeteilt. Sie gehört zu den krafthaltigen Sorten und wird auch als gebrauchte Kraftwellpappe 2 bezeichnet. 4.03 sollte laut DIN EN 643 aus gebrauchten Verpackungen aus Wellpappe, mit Decken aus Kraftlinern oder Testlinern, wobei jedoch mindestens eine Decke aus Kraftlinern hergestellt ist bestehen. Des Weiteren sollte Altpapier grundsätzlich frei von papierfremden Stoffen geliefert werden. Die Altpapiersorte 4.03 wird auch (wie 1.02 und 1.04) zur Herstellung von Kartonagen, Verpackungspapieren und -pappen eingesetzt. Im Rahmen des Projektes konnten aufgrund der seltenen Verfügbarkeit in den Papierfabriken nur zwei Lieferungen der Altpapiersorte 4.03 (sechs Ballen; 12 Bohrkerne) beprobt werden. Die daraus resultierenden Ergebnisse sind in **Abb. 28** dargestellt. Der Anteil an Verpackungspapieren beträgt 98,2 %, darin sind zu 97,5 % graue/braune Wellpappen, zu 1,2 % weiß gedeckte Wellpappe, zu 0,9 % Verpackungspapiere, zu 0,2 % graue Vollpappe und zu 0,1 % stark farbig bedruckte Verpackungspapiere enthalten. Des Weiteren enthält 4.03 einen Anteil von 1,6 % an grafischen Papieren und 0,2 % papierfremde Stoffe.

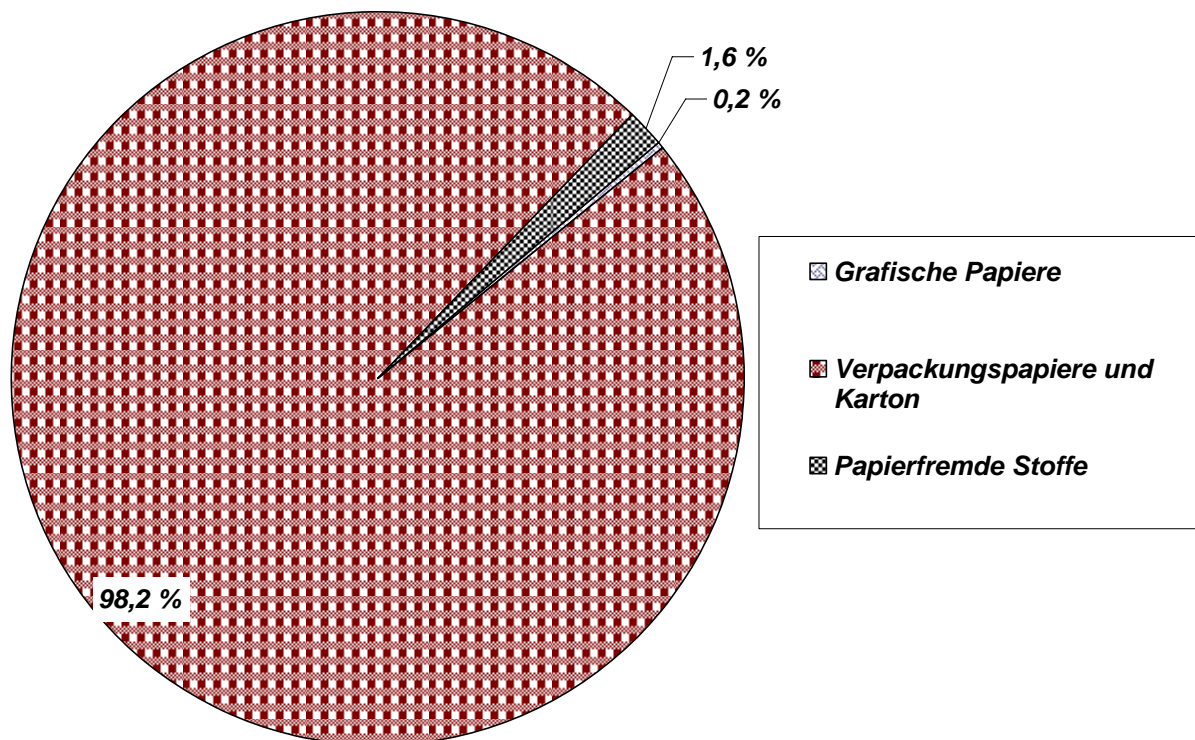


Abb. 28: Zusammensetzung der Altpapiersorte 4.03 (n = 2)

3.2.5 Zusammensetzung aller untersuchten Sorten

Der in den braunen Altpapiersorten enthaltene grafische Papieranteil nimmt erwartungsgemäß von 1.02 über 1.04 und 4.03 ab (**Abb. 29**). Nachdem der grafische Papieranteil in der Altpapiersorte 1.02 zwischen 1984 und 1994 von 57 % auf ca. 70 % angestiegen ist, sank er im Jahr 1999 wieder auf ein Niveau von 54 % und lag somit 4 %-Punkte niedriger als 1984. Im Jahr 2010 ist der grafische Papieranteil im sortierten, gemischten Altpapier (1.02) mit 55 % wieder auf einem ähnlichen Niveau wie bereits im Jahr 1984.

Im Jahr 1984 lag der enthaltene Anteil an grafischen Papieren im Kaufhausaltpapier (1.04) noch bei knapp 30 %. Innerhalb von 10 Jahren sank er im Jahr 1994 auf die Hälfte und lag bei 14 %. In den fünf darauf folgenden Jahren reduzierte sich der grafische Papieranteil nochmals um weitere 2 %. Von den im Jahr 1999 ermittelten 12 % ausgehend ist der Anteil an grafischen Papieren im Kaufhausaltpapier heute wieder auf 18 % angestiegen.

Der grafische Papieranteil in 4.03 hat sich von 1984 bis 1999 praktisch nicht verändert. Im Vergleich zu 1999 ist dieser Anteil allerdings gesunken und liegt unterhalb von 0,5 %.

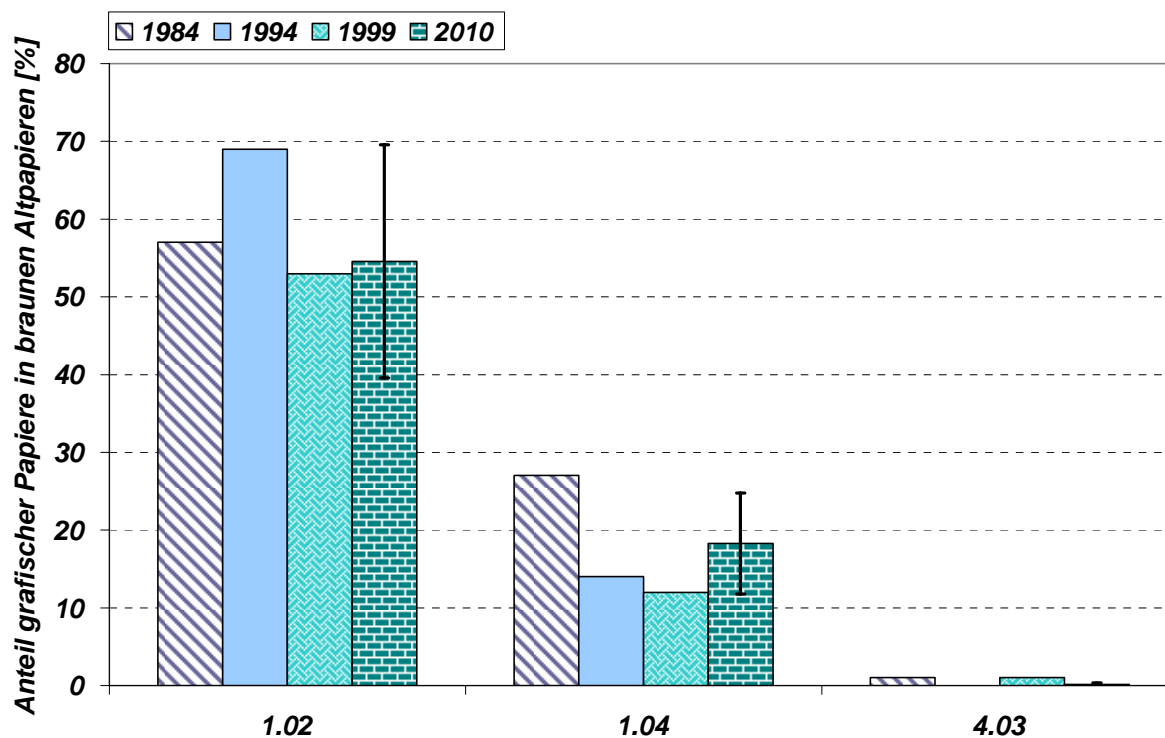


Abb. 29: Anteil an grafischen Papieren in braunen Altpapiersorten der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010

In den Sorten 1.02 und 1.04 hat sich der Anteil an grafischen Altpapieren seit der ersten Untersuchung in den 80er Jahren zwar reduziert, steigt aber seit den 90er Jahren wieder an. Der Rückgang des grafischen Papieranteils bis zum Jahr 1999 in den Altpapiersorten 1.02 und 1.04 ist vermutlich auf das Inkrafttreten der Verpackungsverordnung von 1991 und der freiwilligen Selbstverpflichtung der grafischen Papierkette von 1994 zurückzuführen. Daraus lässt sich schließen, dass in dieser Zeit verstärkt grafisches Altpapier dem gemischten Altpapier für Verpackungspapiere entzogen und als grafisches Altpapier (Deinkingware) vermarktet wurde.

In **Abb. 30** sind die enthaltenen Anteile an nicht-deinkbaren Papieren und Pappen in der Altpapiersorte 1.11 dargestellt. Die nicht-deinkbaren bzw. unerwünschten Papiere setzen sich aus den Kategorien Verpackungspapiere und Karton sowie ungeeignete Papiere zusammen.

Im Vergleich zu 1996 und 1999 resultiert für den durchschnittlichen Anteil an Verpackungspapieren und Karton im 1.11er Altpapier eine leichte Erhöhung. Im Jahr 1999 lag der durchschnittliche Höchstwert auf dem Niveau des anhand dieser Untersuchung festgestellten Anteils an Verpackungspapieren und Karton. Der Anteil an ungeeigneten Papieren der Altpapiersorten 1.11 ist im Vergleich zu 1999 um knapp 3 %-Punkte gesunken und liegt heute wieder auf dem Niveau von 1996.

Im Summe lag der Anteil an in der Deinkingware enthaltenen nicht-deinkbaren Papieren im Jahr 1996 bei knapp 5 %, im Jahr 1999 bei 7 % und im Jahr 2010 bei 6 %.

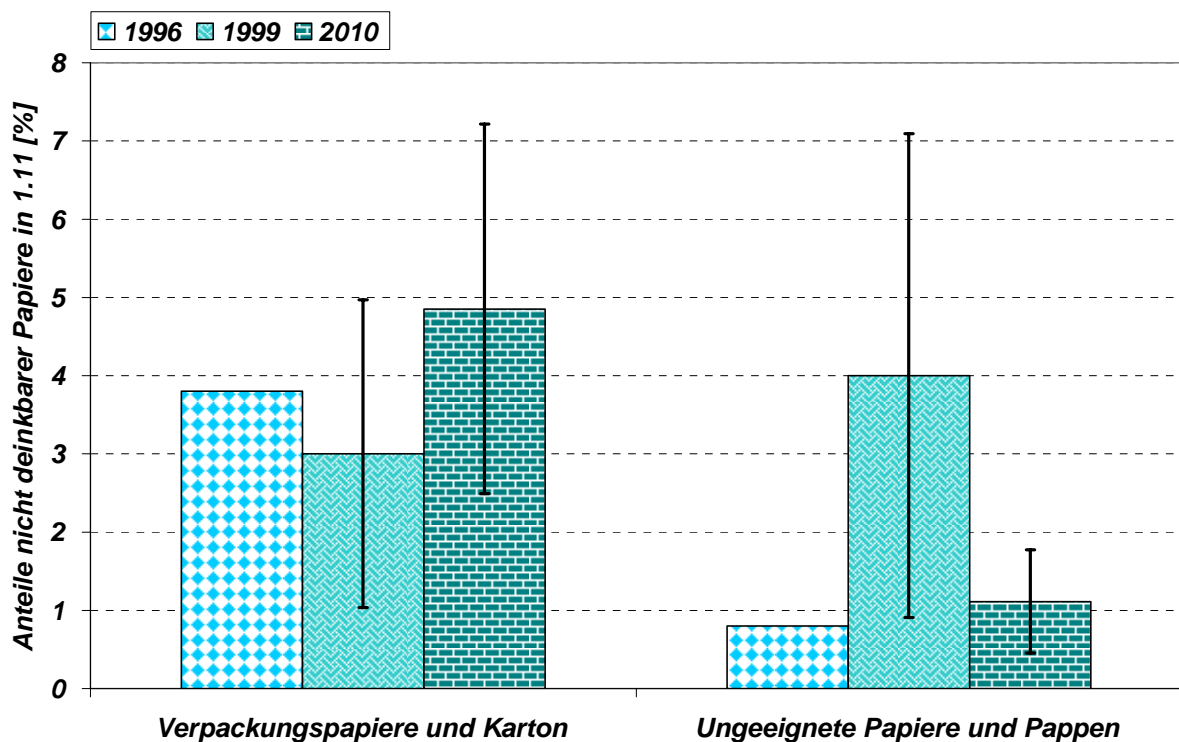


Abb. 30: *Anteile nicht-deinkbarer Papiere in der Altpapiersorte 1.11 in den Jahren 1996-2010*

Gemäß der europäischen Standardsortenliste sollte Altpapier grundsätzlich frei von unerwünschten Stoffen geliefert werden. Unter die Begrifflichkeit unerwünschte Stoffe fallen Papiere und Pappen die nicht für das Recycling geeignet sind (z. B. nicht-deinkbare Papiere) und papierfremde Stoffe (z. B. Metall, Kunststoff, Glas, Holz, Sand, etc.).

Der Anteil an papierfremden Stoffen in der Altpapiersorte 1.11 hat sich im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungen nicht signifikant verändert und beträgt 0,6 % (**Abb. 31**). Im Jahr 1984 lag der Anteil an papierfremden Stoffen der Altpapiersorte 1.02 noch unter 2 %, im 1994 hat er sich mehr als verdoppelt und lag bei über 4 %, für das Jahr 1999 konnte ein Rückgang auf knapp 3 % des Anteils an papierfremden Stoffen verzeichnet werden. Innerhalb der letzten 10 Jahre ist der in der Altpapiersorte 1.02 enthaltene Anteil an papierfremden Stoffen wieder auf knapp 4 % angestiegen. Der in der Altpapiersorte 1.04 enthaltene Anteil an papierfremden Stoffen betrug von 1984 bis 1999 ca. 2 % und liegt heute bei nur noch 1,6 %. Im Jahr 1984 betrug der Anteil an papierfremden Stoffen in der Altpapiersorte 4.03 ca. 1,5 %, 1999 betrug er sogar nur 0,3 % und im Jahr 2010 ist der Anteil an papierfremden Stoffen mit 1,6 % erneut auf dem Niveau von 1984.

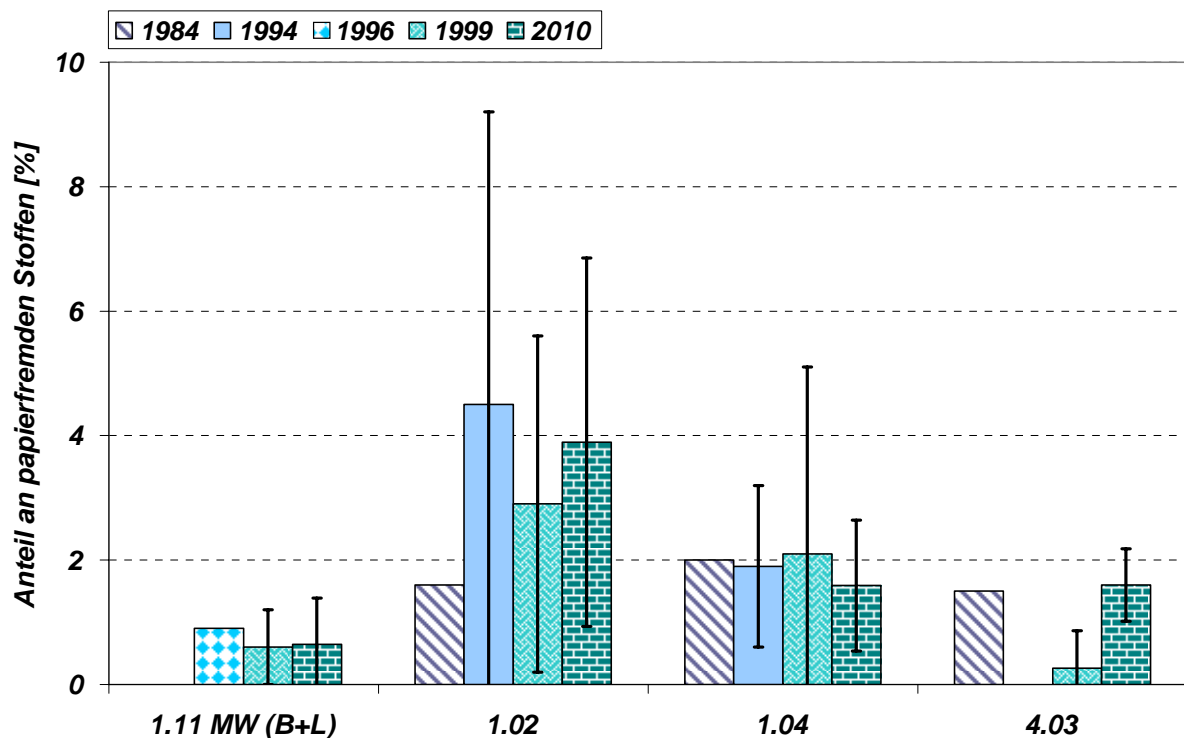


Abb. 31: Anteil papierfremder Stoffe der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010

3.3 Suspensionseigenschaften

3.3.1 Aschegehalt

In **Abb. 32** ist der durchschnittliche Aschegehalt der untersuchten Altpapiersorten im Vergleich zu den Ergebnissen vorangegangener Untersuchungen der Jahre 1984-1999 dargestellt. Der Aschegehalt ist seit 1984 in allen untersuchten Altpapiersorten kontinuierlich angestiegen. Im Mittel über alle Altpapiersorten ist der Aschegehalt während der letzten 26 Jahre um 6,6 % angestiegen. Innerhalb der letzten 10 Jahre ist ein durchschnittlicher Anstieg des Aschegehaltes von ca. 4 % zu verzeichnen. Heute (2010) liegen die durchschnittlichen Aschegehalte der Altpapiersorten 1.11 bei 24 %, 1.02 bei 21 %, 1.04 bei 17 % und 4.03 bei 12 %.

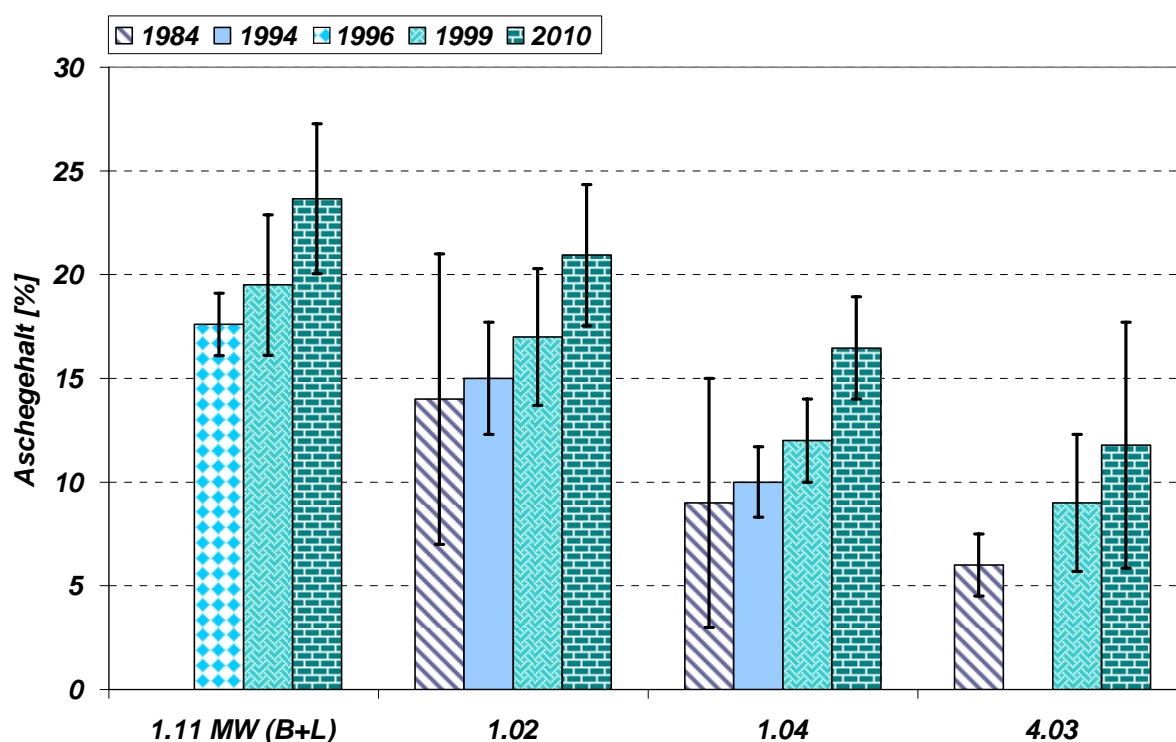


Abb. 32: Aschegehalt der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010

Aus **Abb. 33** geht deutlich hervor, dass der Aschegehalt in den braunen Altpapiersorten zwischen 1984 und 2010 linear ansteigt. Der Aschegehalt liegt für die Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 4.03 zwar auf einem unterschiedlichen Niveau allerdings ist die Steigung für diese Altpapiersorten nahezu identisch. Die ersten Untersuchungen der Altpapiersorte 1.11 gehen auf das Jahr 1996 zurück von da an ist der Aschegehalt im Vergleich zu den braunen Altpapiersorten überproportional angestiegen.

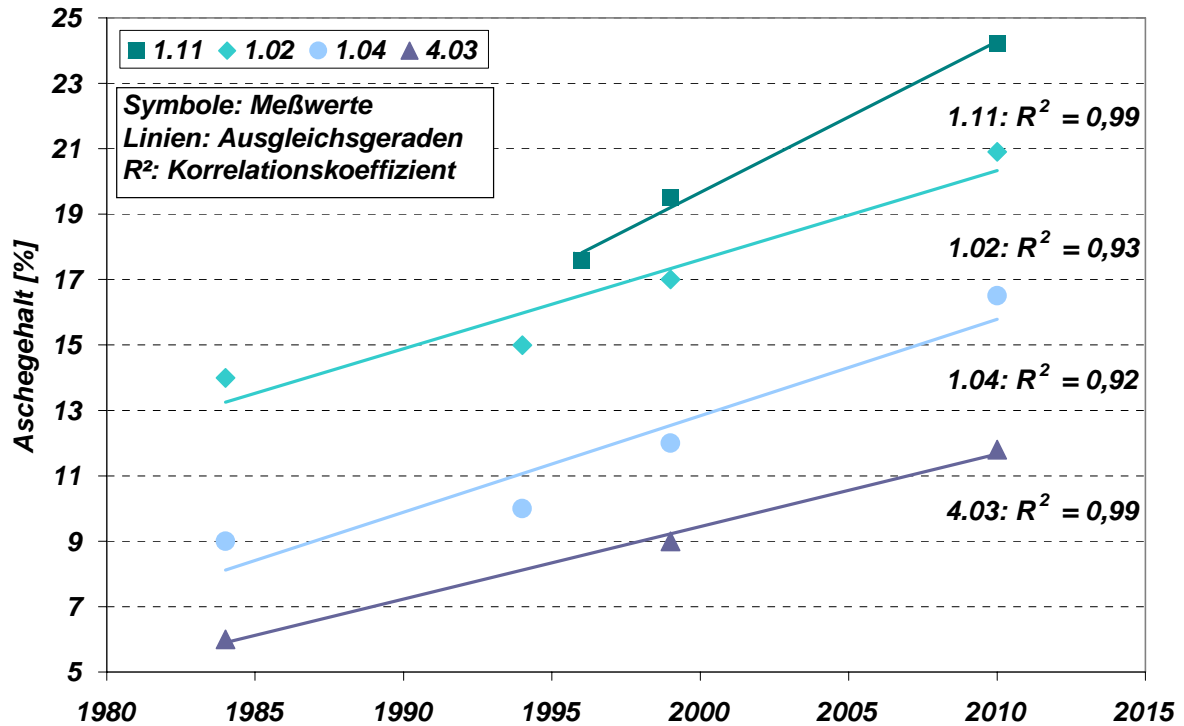


Abb. 33: Aschegehaltssteigerung der untersuchten Altpapiersorten zwischen den Jahren 1984-2010

Am Beispiel des Aschegehaltes wird die Entwicklung seit 1984 im Hinblick auf den Altpapiereinsatz sowie den Einsatz an Mineralien und Additiven in Deutschland beschrieben (**Abb. 34**). Der Einsatz von Altpapier hat sich von 1984 bis 2009 fast vervierfacht und wird voraussichtlich in Zukunft noch weiter steigen. Dies wird besonders klar, wenn man im Rückblick auf das Jahr 2009 trotz oder gerade wegen den starken Produktionseinbrüchen in der Papierindustrie einen Anstieg der Altpapiereinsatzquote von 68 % im Jahr 2008 auf 71 % im Jahr 2009 verzeichnet wurde [3]. Der Einsatz an Mineralien und Additiven hat sich ebenfalls von 1984 bis 2009 mehr als verdoppelt. Bedingt durch den erhöhten Einsatz von Mineralien und Additiven ist auch der Aschegehalt in den letzten 25 Jahren entsprechend angestiegen. Der Aschegehalt im Altpapier ist allerdings nicht nur in Abhängigkeit vom Einsatz an Mineralien und an Additiven gestiegen, sondern auch durch die zunehmende bzw. weiter zunehmende Schließung der Recyclingkreisläufe.

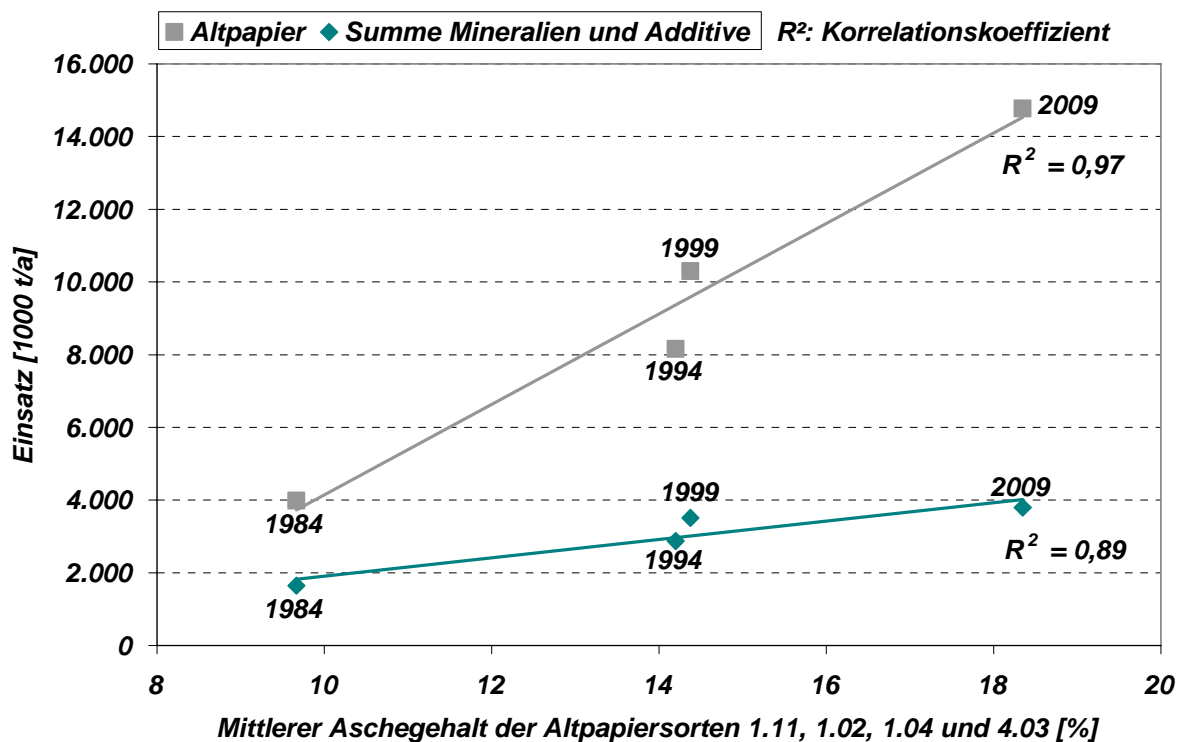


Abb. 34: Korrelation zwischen dem Altpapiereinsatz bzw. der Summe an Mineralien und Additiven und dem mittleren Aschegehalt der Altpapiersorten 1.11, 1.02, 1.04 und 4.03 in Deutschland

3.3.2 Entwässerungsverhalten

Der Mahlgrad nach Schopper-Riegler (SR) ist der in Mitteleuropa gebräuchlichste Summenparameter, der das Entwässerungsverhalten (EWV) einer Suspension kennzeichnet. Das Entwässerungsverhalten von 1.11 ist heute (2010) mit 59 SR wieder auf demselben Niveau wie 1996, während es 1999 nur 48 SR betrug (**Abb. 35**). Im Vergleich von 1984 zu 2010 ist der Entwässerungswiderstand der Altpapiersorten 1.02 und 1.04 um knapp 10 SR angestiegen. In den 90er Jahren gab es keine signifikanten Unterschiede im Entwässerungsverhalten der Altpapiersorten 1.02 und 1.04. Bei der Altpapiersorte 4.03 ist analog zu den anderen braunen Sorten (1.02 und 1.04) ein leichter Anstieg des Entwässerungsverhaltens von 1984 bis 2010 zu verzeichnen.

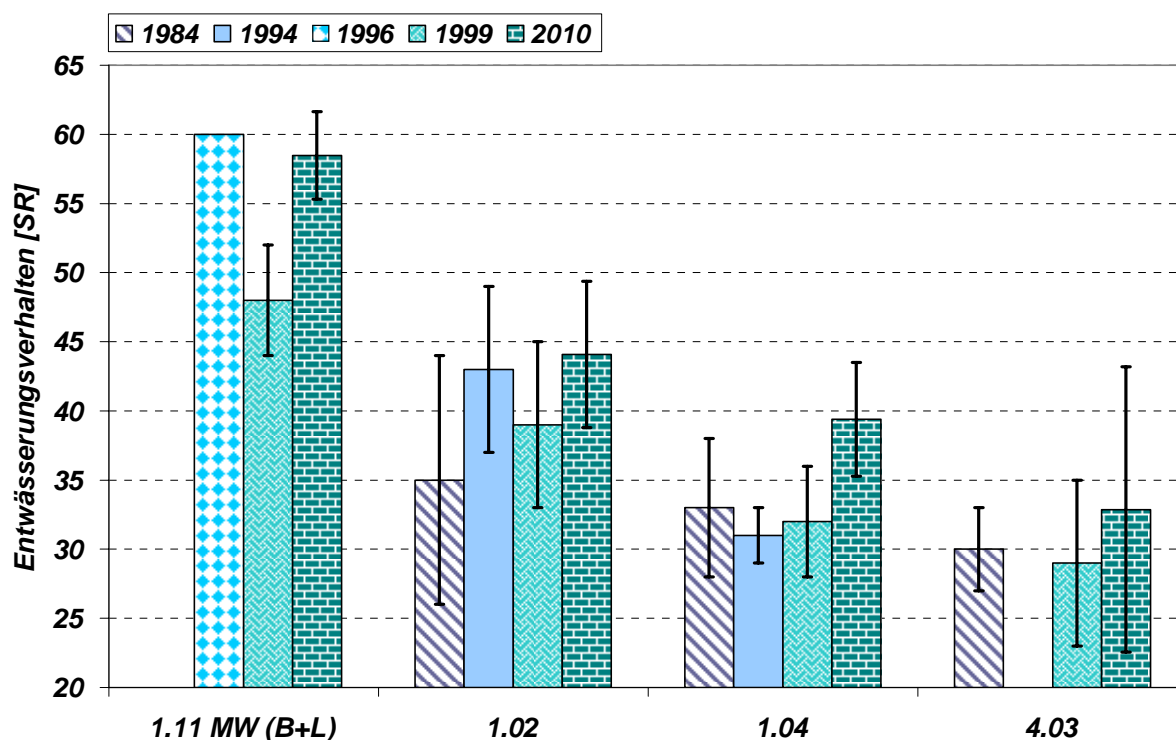


Abb. 35: Entwässerungsverhalten der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010

Die Mahlung von Faserstoffen hat einen großen Einfluss auf andere Papiereigenschaften. Somit besteht zwischen dem Entwässerungsverhalten von Altpapiersuspensionen bzw. dem in SR angebenen Mahlgrad und anderen Parametern eine Abhängigkeit. Dementsprechend steigt z. B. mit steigendem Aschegehalt auch das in SR gemessene Entwässerungsverhalten bzw. die Entwässerungszeit. Durch einen höheren Aschegehalt ist wiederum ein höherer Anteil an Fein- und Füllstoffen in der Suspension zu erwarten. In **Abb. 36** ist die Korrelation zwischen Aschegehalt und Entwässerungsverhalten dargestellt. Aus dieser Darstellung wird außerdem ersichtlich, dass der Aschegehalt mit zunehmendem Anteil an grafischen Papieren von 4.03 über 1.02, 1.04 bis 1.11 ansteigt. Ebenso ist durch einen steigenden Anteil an grafischen Papieren ein höherer Anteil an Fein- und Füllstoffen zu erwarten, da diese z. B. die optischen Eigenschaften oder die Glätte (und somit auch die Bedruckbarkeit) von grafischen Papieren verbessern.

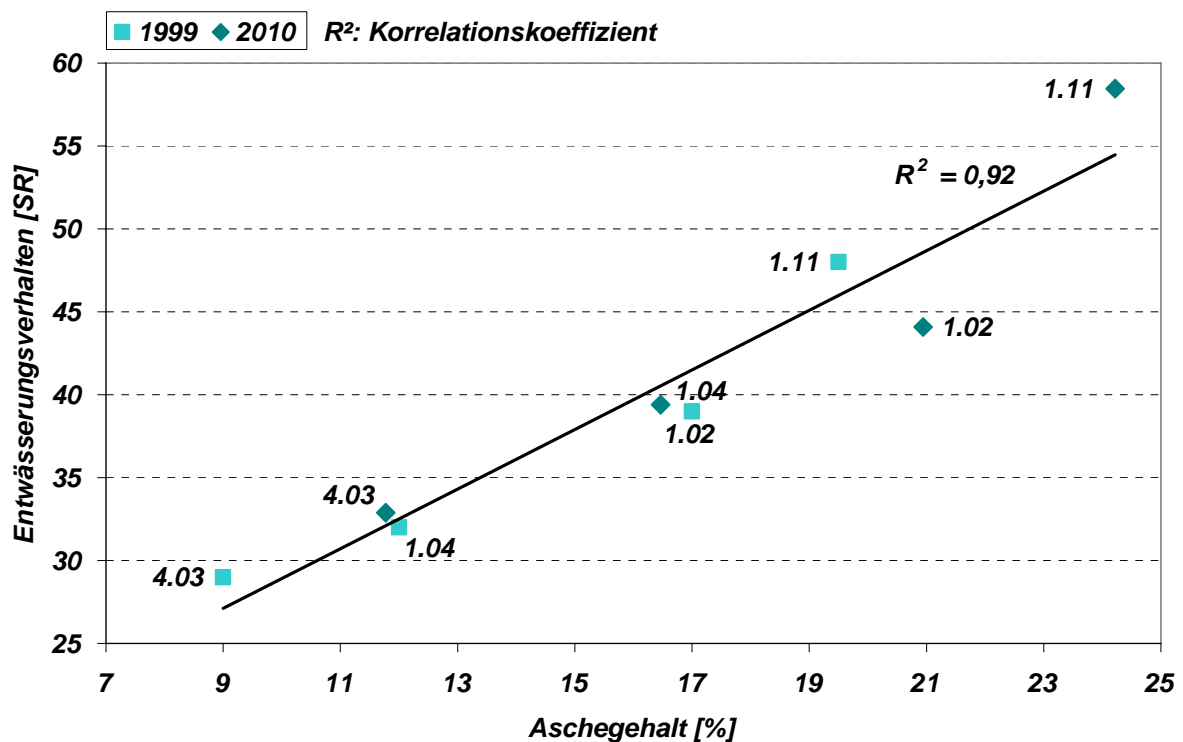


Abb. 36: Korrelation zwischen dem Aschegehalt und dem Entwässerungsverhalten der Altpapiersorten 1.11, 1.02 und 1.04 in den Jahren 1999 und 2010

3.3.3 Wasserrückhaltevermögen

Das Wasserrückhaltevermögen (WRV) gibt Aufschluss über die Quellung der Fasern. In **Abb. 37** ist das Wasserrückhaltevermögen der untersuchten Altpapiersorten dargestellt. Der WRV der verschiedenen Altpapiersorten liegt zwischen 103 % und 105 %. Davon ausgehend, dass die Fähigkeit des Faserstoffs Wasser zu adsorbieren mit dem Mahlgrad steigt, sollte für die Altpapiersorte 1.11 ein höherer WRV vorliegen (vgl. Abb. 35). Da dies aber nicht nur vom Mahlgrad sondern auch maßgeblich durch den Aschegehalt beeinflusst wird, gibt es zwischen den einzelnen Altpapiersorten keine signifikanten Unterschiede im WRV. Der Aschegehalt der Altpapiersorte 1.11 ist im Vergleich zu den braunen Altpapiersorten wesentlich höher ist (vgl. Abb. 32).

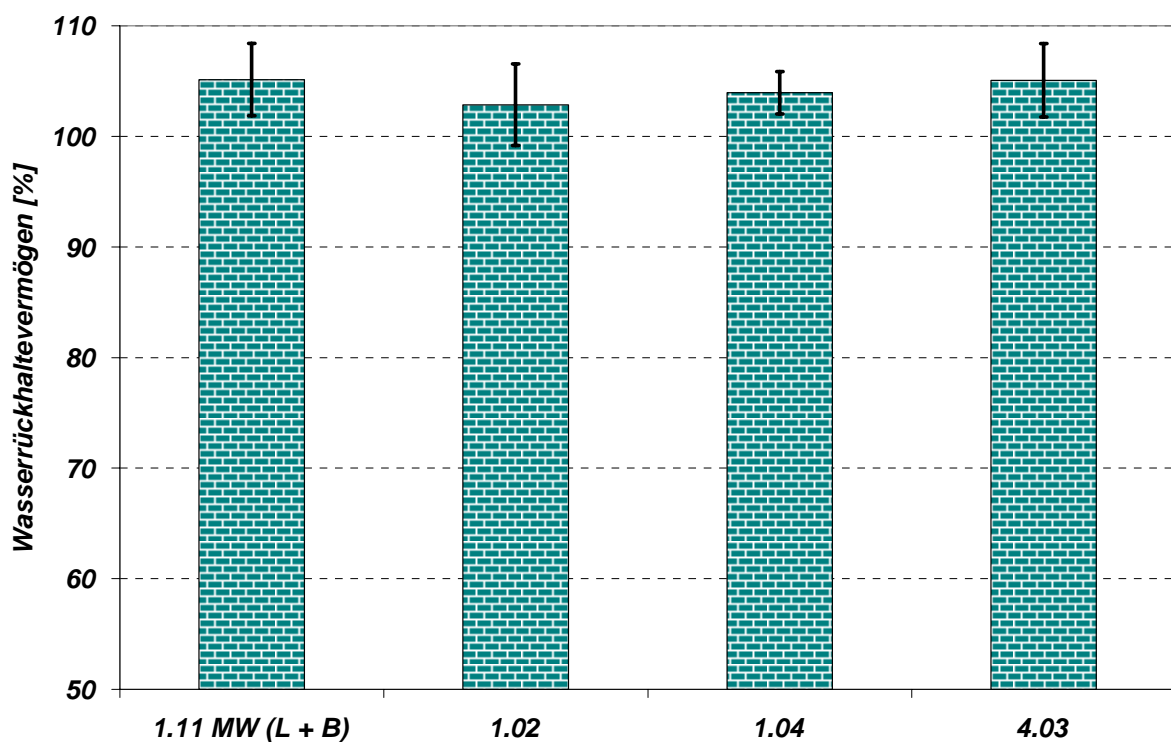


Abb. 37: Wasserrückhaltevermögen der untersuchten Altpapiersorten im Jahr 2010

3.3.4 Faserfraktionierung

Aus der Bestimmung der Massenverteilung an langen und kurzen Fasern sowie an Feinstoffen lassen sich physikalische Eigenschaften der Suspension und der daraus hergestellten Papiere oder Laborblätter ableiten. Insbesondere der Anteil an langen Fasern (Faserlangstoff) beeinflusst die Festigkeitseigenschaften im fertigen Papier und die Möglichkeit zur Festigkeitssteigerung durch mahltechnische Nachbehandlung. Der Anteil an Feinstoffen wirkt sich mehr auf das Entwässerungsverhalten der Stoffsuspension und auf Papiereigenschaften wie Glätte oder Porosität aus.

In **Abb. 38** sind die mittels Haindl-McNett-Gerät resultierenden Ergebnisse für die Fraktionen der jeweiligen Altpapiersorten dargestellt. Die Anteile an Splintern und Stippen (Schlitzplatte) nehmen von 1.11 über 1.02, 1.04 bis 4.03 mit zunehmendem Anteil an Verpackungspapieren und Karton zu. In den R 30er Fraktionen unterscheiden sich die Anteile an langen Fasern zwischen 1.11, 1.02 und 1.04 nicht. Allerdings liegt der prozentuale Anteil der R 30er Fraktion der Altpapiersorte 4.03 knapp 10 % höher als bei den anderen Sorten. Die Fraktionen mittlerer Faserlänge (R 50) und kurzer Faserlänge (R 100) unterscheiden sich nicht signifikant. Die Fraktionen R 200 und D 200 repräsentieren den Anteil an Feinstoffen. Dieser ist erwartungsgemäß in der Altpapiersorte 1.11 (analog zum Aschegehalt und Schopper-Riegler-Wert) im Vergleich zu den braunen Altpapiersorten am höchsten. Innerhalb der braunen Altpapiersorten nimmt der Anteil an Feinstoffen von 1.02 über 1.04 bis 4.03 mit abnehmendem grafischem Papieranteil ab.

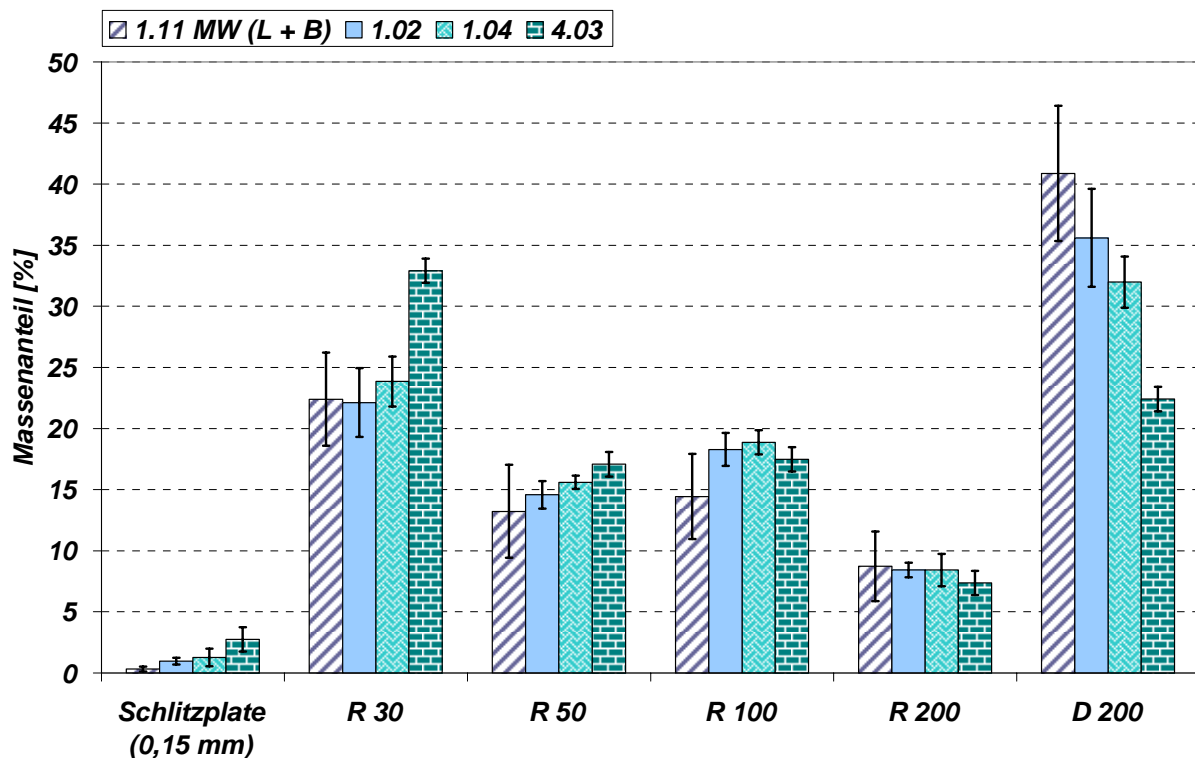


Abb. 38: Faserfraktionierung mittels Haindl-McNett-Gerät der Altpapiersorten 1.11, 1.02, 1.04 und 4.03 im Jahr 2010

In den vorangegangenen Untersuchungen (1984-1999) wurde zur Faserfraktionierung der braunen Sorten (1.02, 1.04 du 4.03) das Brecht-Holl-Gerät verwendet. Um die mittels beider Verfahren erzielten Ergebnisse bezüglich ihrer Anteile an Faserlangstoff, an Faserkurzstoff und an Faserfeinstoff miteinander vergleichen zu können, mussten die Fraktionen anhand der lichten Maschenweite aufgeschlüsselt werden. In **Tabelle 4** sind die umgerechneten Anteile je nach Maschenweite der jeweiligen Fraktionen dargestellt.

Tabelle 4: Einteilung der Haindl-McNett und Brecht-Holl Fraktionen in die Anteile Stippengehalt, Faserlangstoff, Faserkurzstoff und Faserfeinstoff in Abhängigkeit von der lichten Maschenweite

Gerät	Stippengehalt (Stp)	Faserlangstoff (Fl)	Faserkurzstoff (Fk)	Faserfeinstoff (Fei)
Haindl-McNett	4/5 Schlitzplatte (150 µm)	1/5 Schlitzplatte + R 30 + 3/4 R 50	1/4 R 50 + R 100 + 1/5 R 200	4/5 R 200 + D 200
Brecht-Holl	Lochplatte (0,7 mm)	Sieb 16	Sieb 50	Eintragsmenge abzüglich Stp, Fl u Fk

In **Abb. 39** sind die Anteile an Faserlangstoff der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010 dargestellt. Der Anteil an Faserlangstoff hat sich im Vergleich zu den Ergebnissen zwischen 1984 bis 2010 in allen untersuchten Altpapiersorten nicht signifikant verändert. Die Ergebnisse liegen im Bereich des für diese Messungen festgestellten Vertrauensbereiches. Für den Stippengehalt sowie für die Anteile an Faserkurz- und Faserfeinstoff konnten ebenfalls keine signifikanten Änderungen im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungen festgestellt werden.

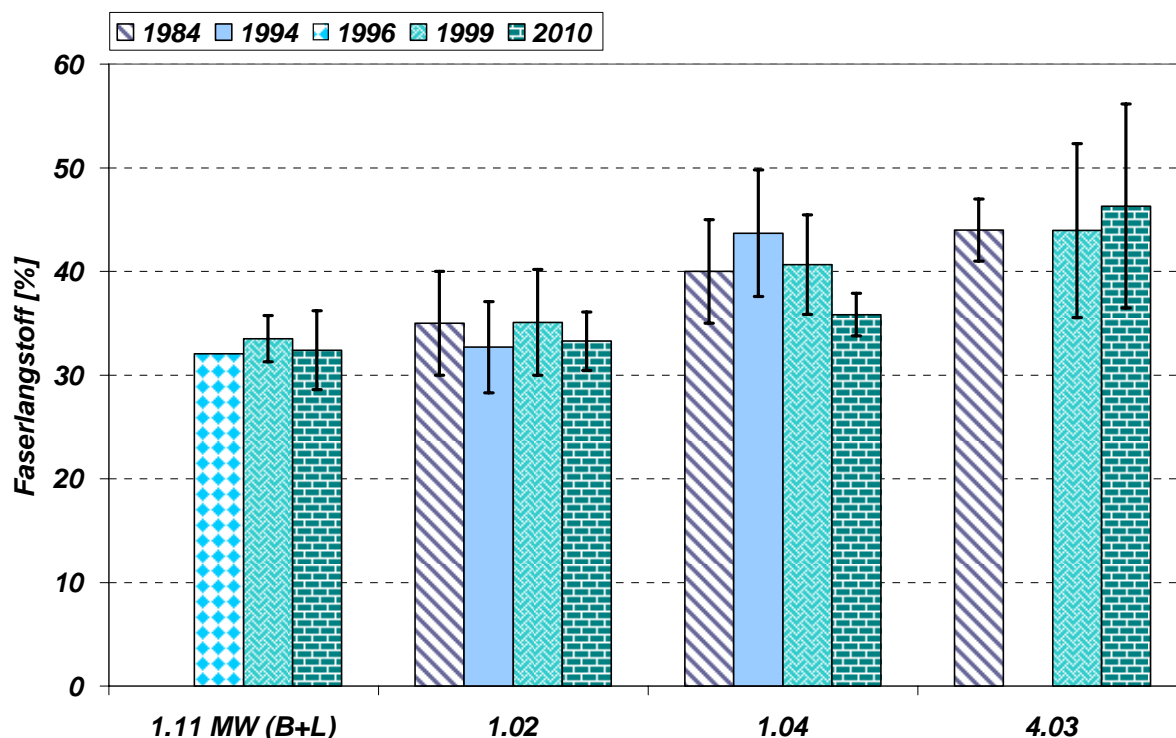


Abb. 39: Faserlangstoff der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010

3.3.5 Makro-Stickygehalt

Im Jahr 1999 wurde im Rahmen des AiF-Projektes 11420 „Zusammensetzung und Qualität von Altpapier in Abhängigkeit der regionalen und saisonalen Erfassung“ erstmals eine umfangreiche Untersuchung zur Bestimmung des Makro-Stickygehaltes im Hinblick auf die Qualitätseigenschaften der untersuchten Altpapiersorten durchgeführt. Im Vergleich zu den Untersuchungen in den neunziger Jahren hat sich der Makro-Stickygehalt für die Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 4.03 verringert (**Abb. 40**). Der drastischste Rückgang ist für die Altpapiersorte 4.03 mit um 31.600 mm²/kg zu verzeichnen. Allerdings wurden für die Altpapiersorte 4.03 nur zwei Lieferungen beprobt. Des Weiteren wird die Altpapiersorte 4.03 sehr oft direkt aus Randabschnitten der Weiterverarbeitung generiert, d. h. ein Großteil der enthaltenen Pappen ist vermutlich nicht verklebt worden. Der Makro-Stickygehalt der Altpapiersorte 1.02 ist von 28.500 mm²/kg auf ein Niveau von 21.000 mm²/kg zurückgegangen und bei 1.04 von 46.000 mm²/kg auf 25.300 mm²/kg. Bei der Altpapiersorte 1.11 hat sich der Makro-Stickygehalt um 5.000 mm²/kg erhöht. Dies könnte mit dem zunehmenden Anteil an klebenden Applikationen in Illustrierten zusammenhängen.

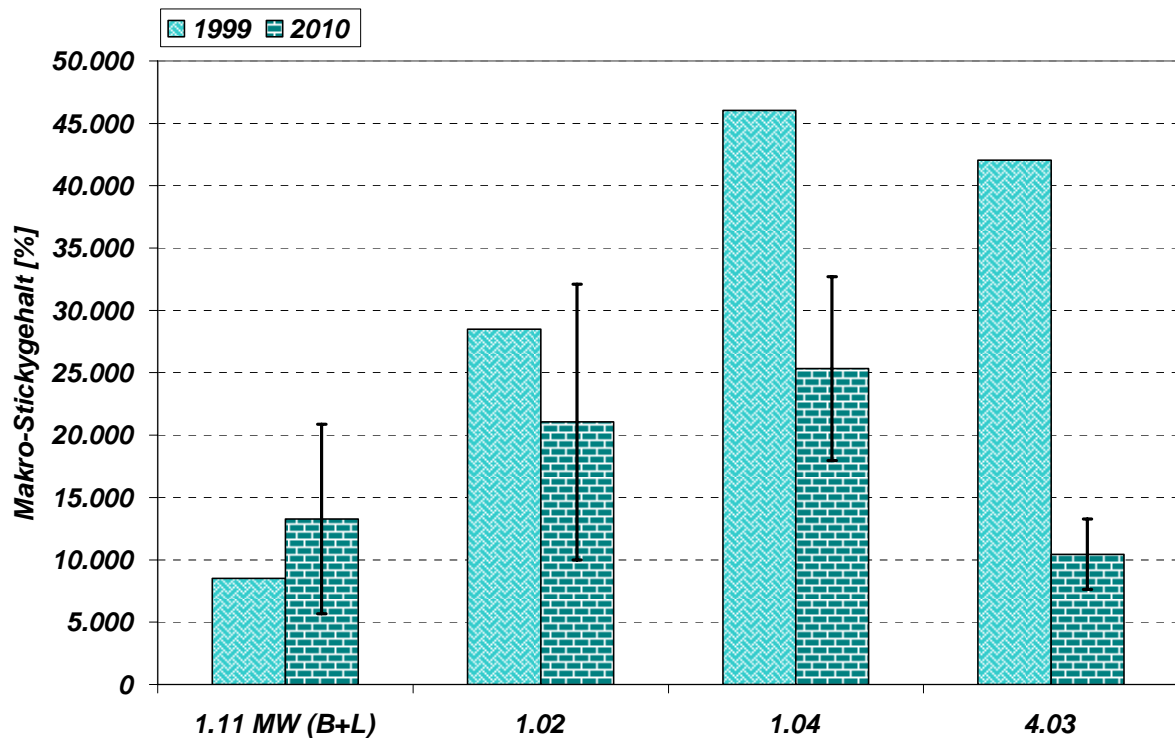


Abb. 40: Makro-Stickygehalt der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1999 und 2010

Die in **Abb. 41** dargestellten Korrelationen zwischen dem Anteil an Verpackungspapieren und Kartonagen zum Makro-Stickygehalt der Altpapiersorten 1.11, 1.02 und 1.04 zeigen einen deutlichen Anstieg des Makro-Stickygehaltes mit einem zunehmenden Anteil an Verpackungspapieren und Kartonagen. Dies ist dadurch bedingt, dass ein Großteil der Verpackungspapiere und Kartonagen in der Fertigung verklebt werden oder z. B. mit Klebeband, Etiketten, etc. beklebt sind. Bei weitem sind dies nicht die einzigen Quellen für Makro-Stickys. Weitere Ursachen sind z. B. Applikationen in Illustrierten, Harze und Ethylenvinylacetate die im Holz selbst und damit im Zellstoff und Holzschliff oder als Bestandteile von Klebstoffen in der Papierverarbeitung vorkommen [49, 50].

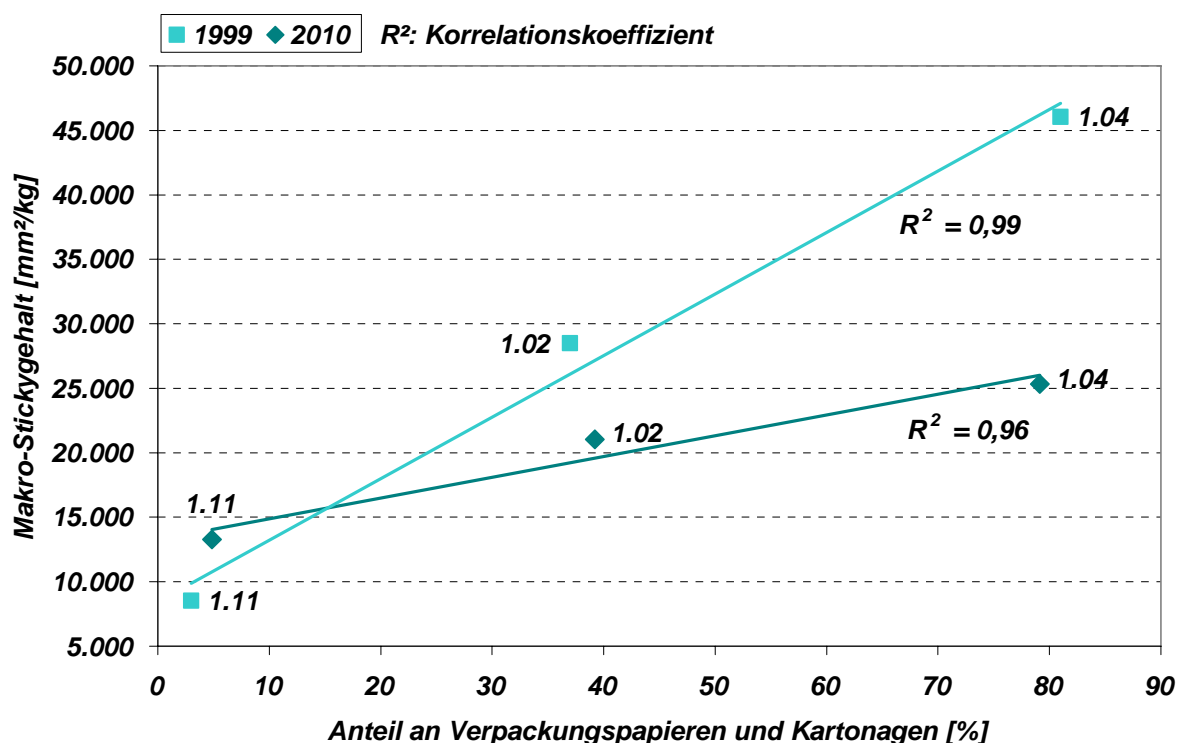


Abb. 41: Korrelation zwischen dem Anteil an Verpackungspapieren und Kartonagen und dem Makro-Stickygehalt der Altpapiersorten 1.11, 1.02 und 1.04 in den Jahren 1999 und 2010

3.3.6 Schmutzpunkte

Schmutzpunkte sind sichtbare optische Inhomogenitäten im Papier, die über einen farblichen Kontrast zur Helligkeit des Gesamtblatts verfügen und deren Durchmesser etwa $50\ \mu\text{m}$ (Auflösungsvermögen des normalsichtigen Auges) überschreitet. Ursachen für Schmutzpunkte sind z. B. in der Altpapieraufbereitung beim Deinking nicht entfernte Restdruckfarbenpartikel oder durch Sortierung nicht entfernte papierfremde Stoffe (z. B. Kunststofffolienstücke) sowie Rindenpartikel oder Splitter aus der Holzstoffherstellung. Schmutzpunkte sind besonders für grafische Papiere ein Qualitätsmerkmal, das die Verwendung von Altpapierstoff zur Papierherstellung einschränken kann.

Die Schmutzpunktfläche (**Abb. 42**) des undeinkten Stoffes der Altpapiersorte 1.11 liegt mit knapp $2.100\ \text{mm}^2/\text{m}^2$ zwischen denen der Altpapiersorten 1.02 (ca. $2.400\ \text{mm}^2/\text{m}^2$) und 1.04 (ca. $1.900\ \text{mm}^2/\text{m}^2$). Der deinkte Stoff der Altpapiersorte 1.11 weist noch eine Schmutzpunktfläche von $1.000\ \text{mm}^2/\text{m}^2$ auf. Die geringste Schmutzpunktbelastung wurde mit knapp $600\ \text{mm}^2/\text{m}^2$ für die Altpapiersorte 4.03 (undeinkt) gemessen.

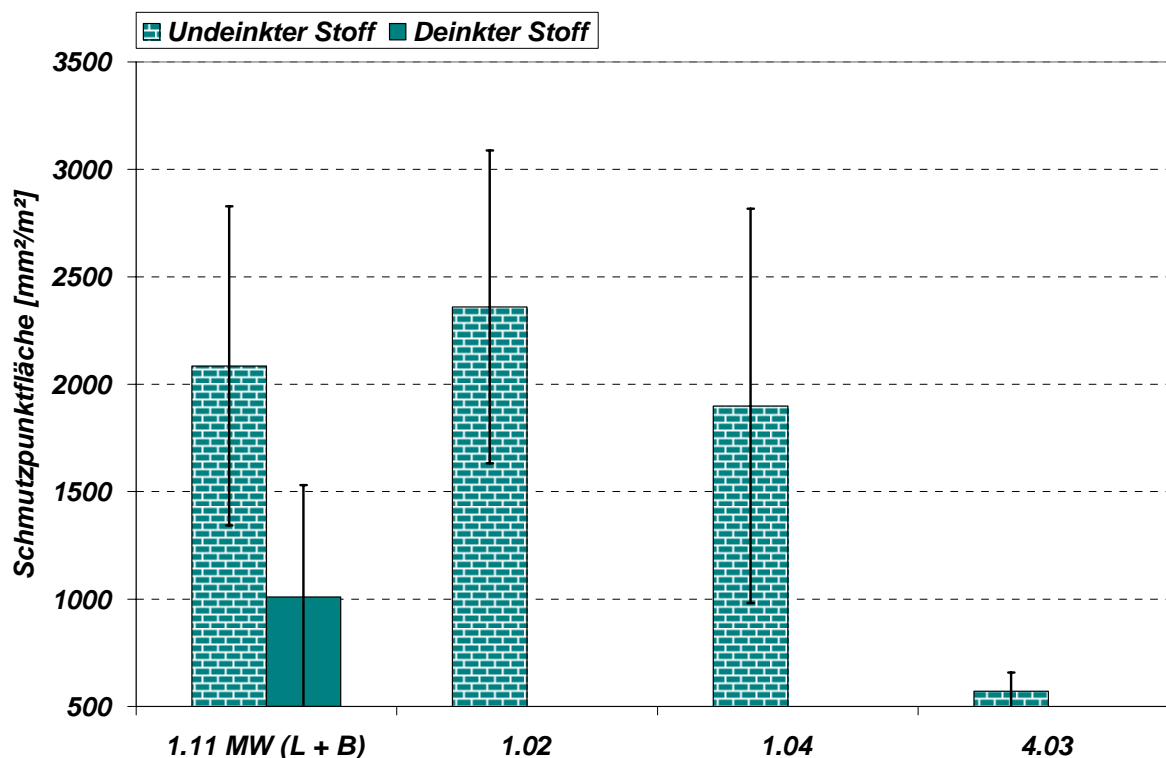


Abb. 42: Schmutzpunktfläche der untersuchten Altpapiersorten im Jahr 2010

Durch Betrachtung der einzelnen Schmutzpunktgrößenklassen in **Abb. 43** wird deutlich, dass die geringste Schmutzpunktbelastung bei allen Altpapiersorten in der Größenklasse von $200\text{--}250\ \mu\text{m}$ und die höchste in der Größenklasse von $250\text{--}500\ \mu\text{m}$ vorliegt. Ebenso ist der Verlauf der Schmutzpunktgrößenverteilung bei allen untersuchten Altpapiersorten gleich, nur die durch Schmutzpunkte belegte Fläche ist für die jeweiligen Altpapiersorten unterschiedlich.

Beim Vergleich zwischen den Altpapiersorten 1.11 (höchster grafischer Papieranteil; geringster Anteil an Verpackungspapier und Karton) und 1.04 (über 70 % Verpackungspapiere und Karton) wird deutlich, dass im Bereich der kleinen Größenklassen ($50\text{--}100\ \mu\text{m}$; $100\text{--}150\ \mu\text{m}$) eine fast doppelt so hohe Schmutzpunktfläche gemessen wird als bei der

verpackungspapierhaltigen Altpapiersorte 1.04. Im Gegensatz dazu ist die Schmutzpunktfläche von 1.04 in den größeren Größenklassen (250-500 μm ; > 500 μm) wesentlich höher als bei 1.11. Dies ist insbesondere auf die unterschiedlichen Kontrastverhältnisse der beiden Altpapiersorten zurückzuführen. Die Schmutzpunktflächen der einzelnen Größenklassen der Altpapiersorte 1.02. (Mischung aus grafischen Papieren sowie Verpackungspapieren und Kartonagen) liegt zwischen den beiden Altpapiersorten 1.11 und 1.04.

Die geringe Schmutzpunktfläche der Altpapiersorte 4.03 ist darauf zurückzuführen, dass diese Sorte hauptsächlich aus Produktionsabfällen (z. B. Randabschnitten) generiert wird und es sich meistens um unbedruckte Altpapiere bzw. Pappen handelt.

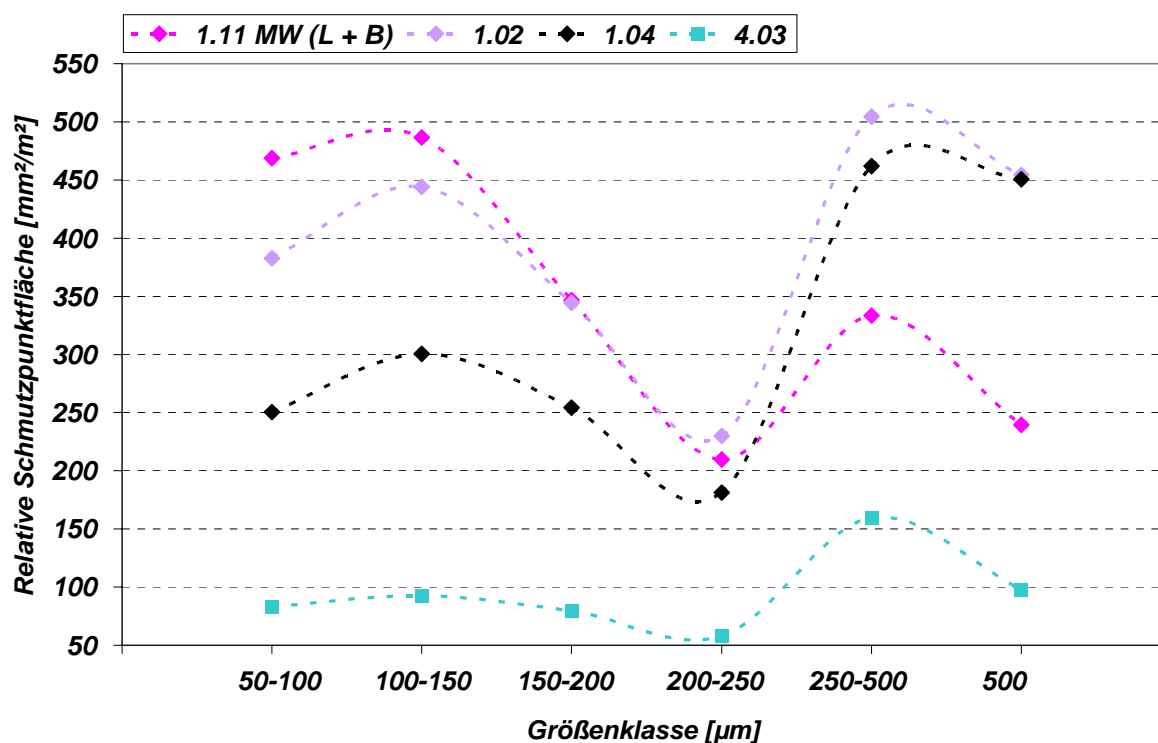


Abb. 43: *Relative Schmutzpunktflächen in Abhängigkeit von der Größenklasse der Altpapiersorten 1.11, 1.02, 1.04 und 4.03 im Jahr 2010*

3.4 Optische Eigenschaften

Optische Eigenschaften wie zum Beispiel Weißgrad, Farbe, optische Homogenität und Reinheit bestimmen im hohen Maße den Gebrauchswert von grafischen Papieren, aber mitunter auch den von Verpackungspapieren (Displayfunktion). Für grafische Altpapiere ist zudem ihr Deinkingverhalten, das u. a. bestimmt wird von ihrer Zusammensetzung, den verwendeten Druckverfahren und -farben, von entscheidender Bedeutung.

Die Beigabe von Deinkingchemikalien beeinflusst das Ablöse- und Dispergierverhalten der Druckfarbenpartikel. Vom gleichen Stoff können dadurch Nutschenblätter mit deutlich anderen optischen Eigenschaften entstehen. Um sortenübergreifend vergleichbare Aussagen treffen zu können, wurden von den grafischen Altpapieren auch Nutschenblätter vom originären Stoff, d. h. ohne Zugabe von Deinkingchemikalien, hergestellt und gemessen. Bei den grafischen Altpapieren werden daher die optischen Eigenschaften durch die Bezeichnung undeinkter Stoff (US) und deinkter Stoff (DS) unterschieden.

3.4.1 Weißgrad (R_{457})

Bei der Betrachtung des Weißgrades der Altpapiersorte 1.11 ist von 1996 bis 2010 ein minimaler Anstieg ersichtlich (**Abb. 44**). Bei 1.02 resultiert ein leichter Anstieg des Weißgrades von 1984 im Vergleich zu 1994 (analog dazu ist der Anteil an grafischen Papieren um 12 %-Punkte gestiegen). Von 1994 bis 2010 ist der Weißgrad der Altpapiersorte 1.02 kontinuierlich zurückgegangen und liegt heute wieder auf demselben Niveau wie 1984. Im betrachteten Zeitraum lag für 1.04 der Weißgrad 1984 etwas höher (analog zum grafischen Papieranteil) als bei den folgenden drei Untersuchungen mit 31 %. Für 4.03 ist der festgestellte Weißgrad über alle Untersuchungen praktisch stabil. Werden die Standardabweichungen der einzelnen Sorten in die Betrachtung einbezogen resultieren für die untersuchten Altpapiersorten keine signifikanten Änderungen.

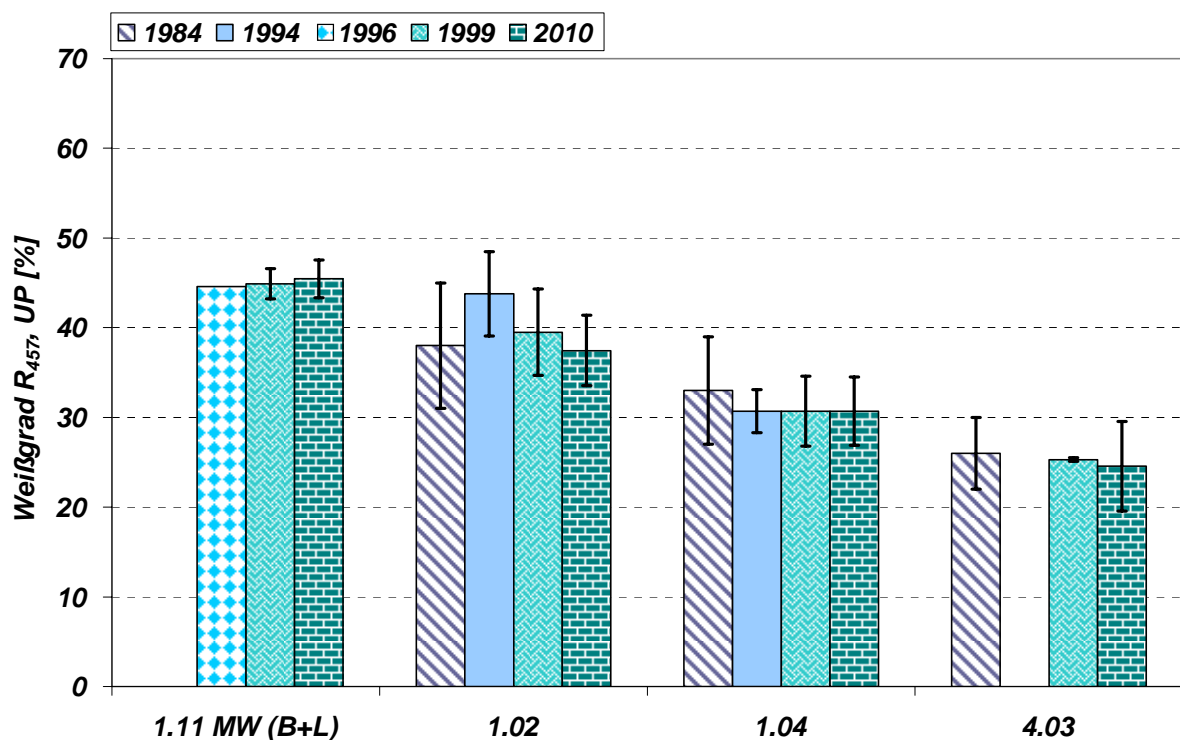


Abb. 44: Weißgrad (R_{457}) der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010

In **Abb. 45** ist der Weißgrad der Altpapiersorte 1.11 für den undeinkten und deinkten Stoff dargestellt. Undeinkter Stoff (US) bedeutet vor der Zugabe der Deinkingchemikalien, d. h. nach der Zerkleinerung im Desintegrator wurde ein Nutschenblatt gebildet, an dem die optischen Eigenschaften (R_{457} , Y , L^* , a^* und b^*) gemessen wurden. Deinkter Stoff (DS) bedeutet ebenfalls eine Messung der optischen Eigenschaften allerdings nach dem Flotationsdeinking (mit der PTS-Zelle). Mittels dieser Messungen können z. B. Aussagen über die Deinkbarkeit anhand der Helligkeitssteigerung getroffen werden. Der durchschnittliche Weißgrad des undeinkten Stoffs von 1.11 hat sich von 1996 an kontinuierlich leicht verbessert. Für den Weißgrad des deinkten Stoffs trifft dies allerdings nicht zu. Im Jahr 1996 betrug der Weißgrad, DS noch 59 %, im Jahr 1999 nur noch 56 % und im Jahr 2010 57 %. Dementsprechend ist die Weißgradsteigerung durch das Flotationsdeinking im Jahr 1996 mit 14,5 %-Punkten am höchsten, während in den Jahren 1999 und 2010 jeweils nur noch 11 %-Punkte erreicht werden konnten.

Dies zeigt, dass die Altpapiermischung zwar eine bessere Weiße im undeinkten Stoff liefert letztendlich aber daraus kein besseres Deinkingergebnis resultiert. Im Laufe der letzten Jahre wurden zunehmend alternative Druckverfahren und -farben (z. B. Inkjet oder Flexo) eingesetzt. Diese Druckfarben besitzen andere Eigenschaften als die Druckfarben die für die herkömmlichen Druckverfahren wie z. B. Tiefdruck oder Offsetdruck verwendet werden. Anhand dieser Untersuchung wird deutlich, dass dies nicht ohne Einfluss auf die Deinkbarkeit geschieht. Dadurch wird offenbar der Deinkingprozess negativ beeinträchtigt.

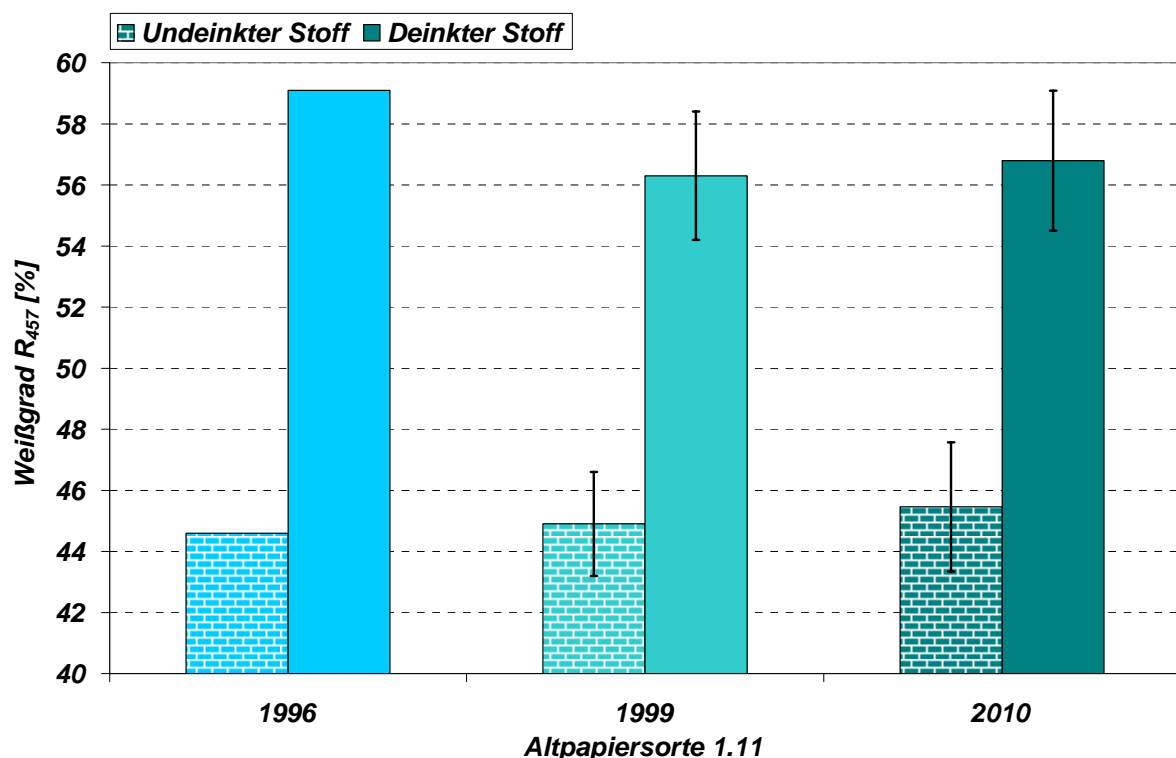


Abb. 45: Weißgrad (R_{457}) des undeinkten und deinkten Stoffs der untersuchten Altpapiersorte 1.11 in den Jahren 1996-2010

3.4.2 Hellbezugswert (Y), L*-, a*-, b*-Werte und ERIC

Das von einem Nicht-Selbstleuchter (Körperfarbe) reflektierte Licht, das sich aus dem Produkt der Strahlungsfunktion der beleuchtenden Lichtart und dem Reflexionsfaktor des Körpers zusammensetzt, wird als Farbreizfunktion bezeichnet. Im Auge wird diese Farbreizfunktion durch drei Sehzapfenarten bewertet und führt zu einer einheitlichen Wirkung, der Farbvalenz. Die Farbmeter misst dieses reflektierte Licht und stellt die Farbvalenz, angepasst an die Funktionsweise des menschlichen Auges in physikalischen Größen eindeutig dar.

Für die farbmeterische Bewertung der Farbvalenz muss das von der Probe reflektierte Licht spektral zerlegt werden. Dies geschieht mit Hilfe von Spektralphotometern. Aus der Messung des Eigenreflexionsfaktors werden die Farbmaßzahlen für Weißgrad R_{457} , Hellbezugswert (Y) und Farbort (L*-, a*-, b*-Werte) berechnet.

Der ERIC-Wert (Effective Residual Ink Concentration) gibt Aufschluss darüber, wie viel an Restdruckfarbe nach dem Deinkingprozess noch in der Stoffsuspension enthalten ist. Des Weiteren lässt sich über den ERIC die Ink Elimination (IE) bzw. der Druckfarbenaustrag berechnen.

Der Hellbezugswert (Y, auch als Helligkeit bezeichnet) spiegelt für die untersuchten Altpapiersorten ein ähnliches Bild wie der Weißgrad wider. Die Helligkeit der undeinkten Stoffe nimmt mit zunehmendem Anteil an braunen Papieren von der Altpapiersorte 1.11 über 1.02, 1.04 und 4.03 ab (Abb. 46). Durch den Deinkingprozess der Altpapiersorte 1.11 konnte der Hellbezugswert um 14-Punkte gesteigert werden.

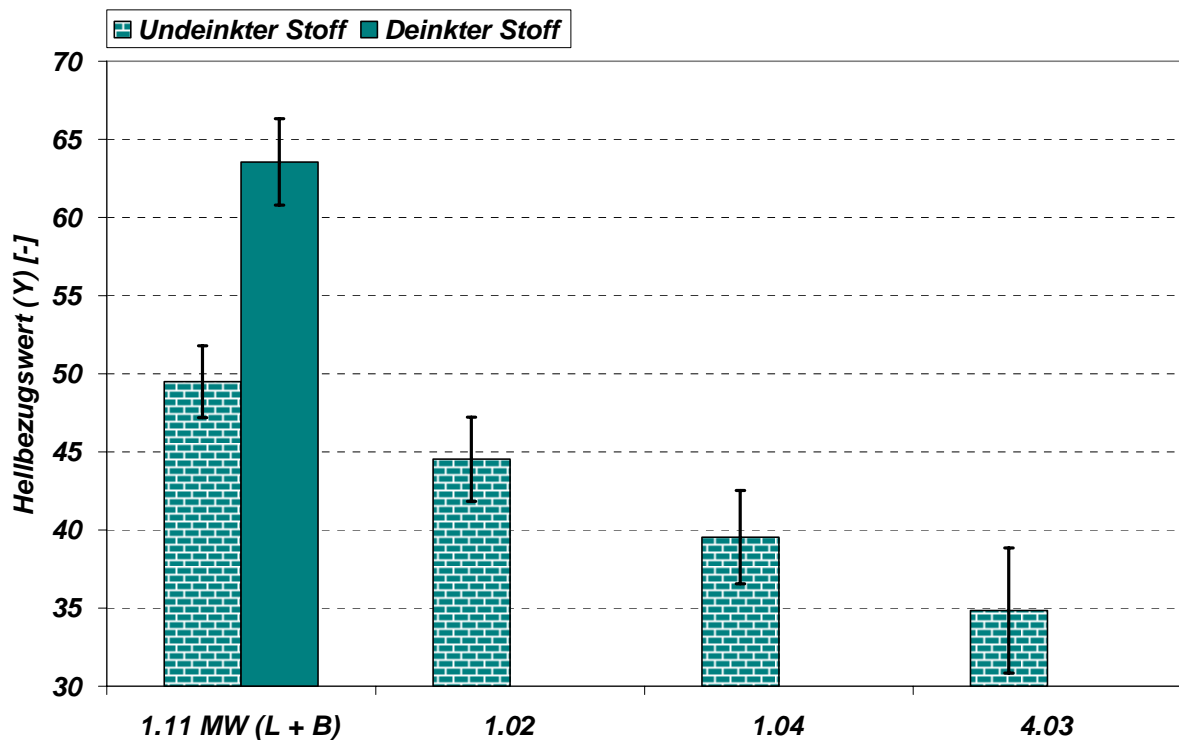


Abb. 46: Hellbezugswert der untersuchten Altpapiersorten im Jahr 2010

Ebenso wie Weißgrad und Hellbezugswert verringert sich der L*-Wert der Altpapiersorten 1.11 über 1.02, 1.04 und 4.03 (**Tabelle 5**). Gleiches trifft für die Verschiebung des Farborts, ausgedrückt durch den a*- und b*-Wert, zu. Da mittels ERIC-Wert der Anteil an Restdruckfarbe beschrieben wird ist der ERIC-Wert des deinkten Stoffs der Altpapiersorte am geringsten.

Tabelle 5: *Farbort der untersuchten Altpapiersorten und ERIC (2010)*

<i>Parameter</i>	<i>Altpapiersorte</i>				
	<i>1.11, US</i>	<i>1.11, DS</i>	<i>1.02</i>	<i>1.04</i>	<i>4.03</i>
L*	75,7	83,7	72,6	69,1	65,6
a*	-0,3	-0,9	0,8	1,7	3,1
b*	4,6	6,7	8,5	12,3	15,9
ERIC	646	212	533	530	499

3.5 Festigkeitseigenschaften

3.5.1 Zugfestigkeit (Reißlänge), Weiterreißarbeit und Berstfestigkeit

Die Festigkeitseigenschaften (Reißlänge, Weiterreißarbeit und Berstfestigkeit) aller untersuchten Altpapiersorten wurden anhand von Laborblättern mit einem durchschnittlichen Flächengewicht von 80 g o/m² nach den entsprechenden DIN-Normen durchgeführt (vgl. Kapitel 2.5.5).

Im Vergleich zu vorangegangenen Untersuchungen zwischen 1996 und 1999 sind bei der Altpapiersorte 1.11 keine signifikanten Änderungen der Reißlänge ersichtlich (**Abb. 47**). Im Gegensatz dazu sind bei der Betrachtung der braunen Altpapiersorten (1.02, 1.04 und 4.03) offensichtlich Änderungen in der Reißlänge erkennbar. Generell steigt die Reißlänge mit zunehmendem Anteil an Verpackungspapier und Karton über die Sorten 1.02, 1.04 und 4.03. Ebenso ist für diese Sorten ein signifikanter Anstieg der Reißlänge von 1984 an bis heute zu verzeichnen. Der Anstieg war in der Dekade von 1984-1994 am größten, von 1994 an ist die Reißlänge zwar weiter angestiegen aber nur in kleinen Schritten und innerhalb des Vertrauensbereiches der Messwertschwankungen.

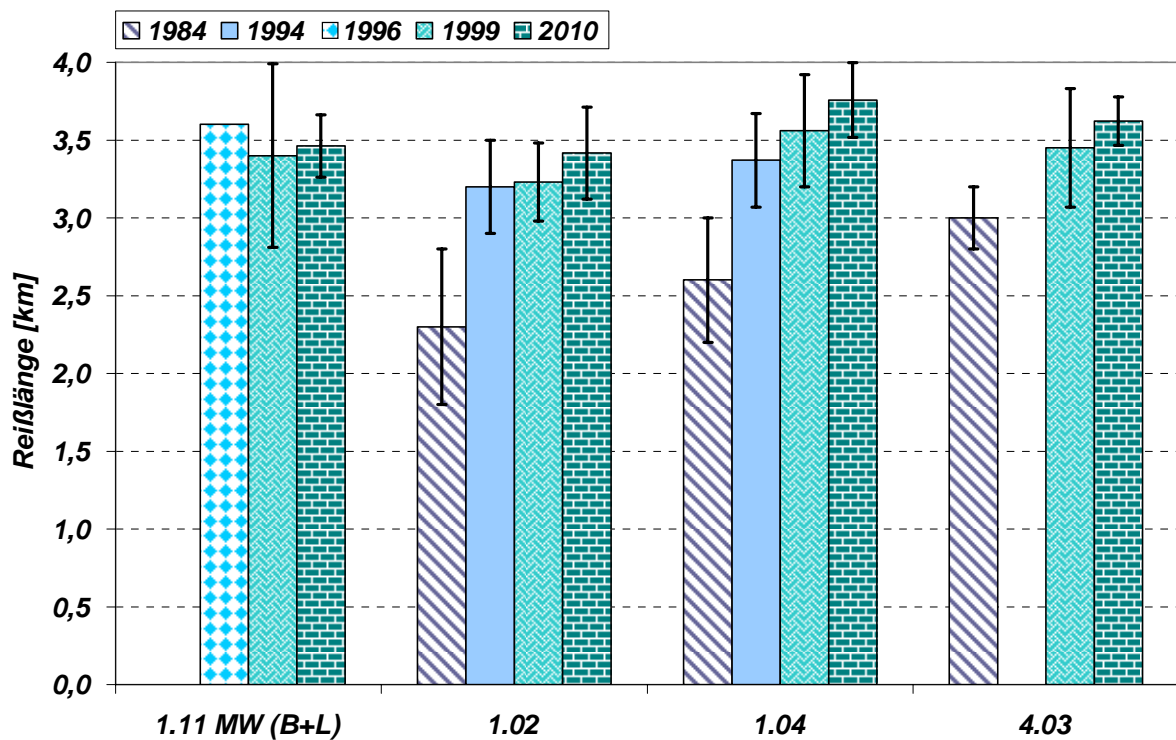


Abb. 47: Reißlänge der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010

Die Ergebnisse für den Parameter Weiterreißarbeit (WRA) sind in **Abb. 48** dargestellt. Bei der Altpapiersorte 1.11 ist im Vergleich zu den Jahren 1996 und 1999 die WRA analog zur Reißlänge ähnlichen Veränderungen unterworfen. Für die braunen Sorten resultieren wie bei der Reißlänge ebenfalls ein Anstieg der WRA von 1984 zu 1994 und ein genereller Anstieg über die Sorten 1.02, 1.04 und 4.03 mit zunehmendem Anteil an Verpackungspapier und Karton. Im Vergleich zu den Daten der 90er Jahre ist heute zumindest kein weiterer Anstieg der WRA zu erwarten.

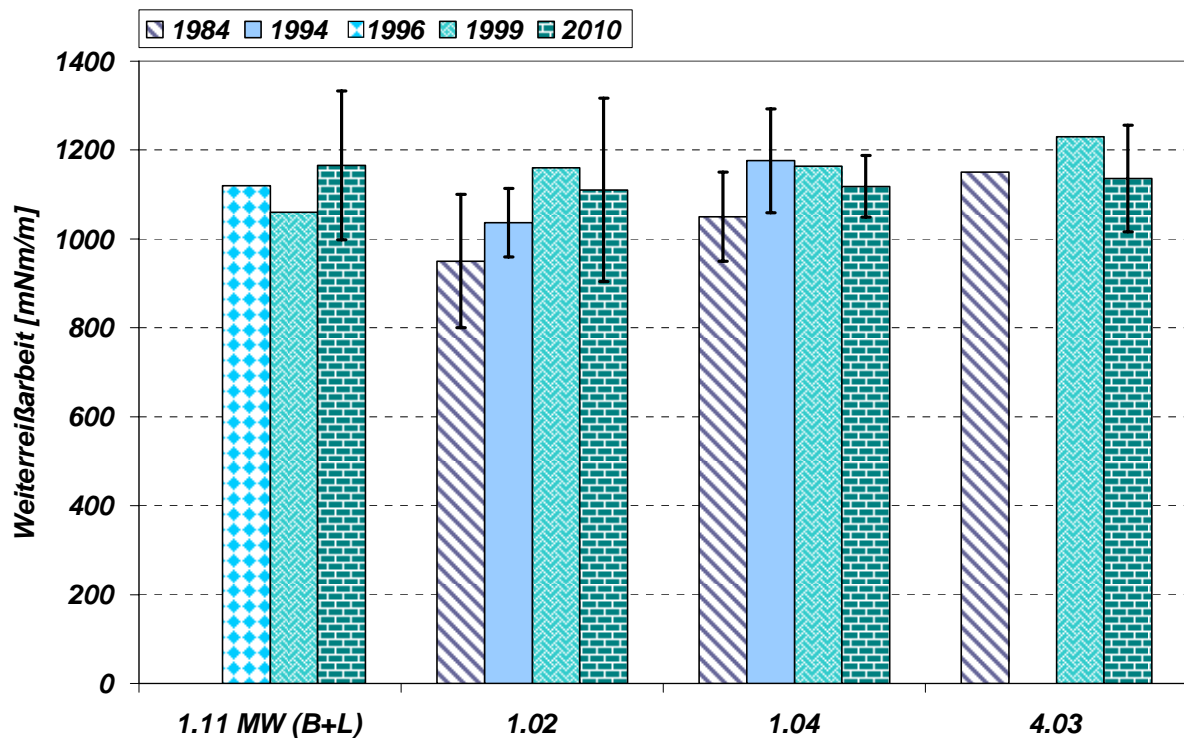


Abb. 48: Weiterreißarbeit der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010

Ein Grund für die zwischenzeitlich positive Entwicklung der Festigkeitseigenschaften (Reißlänge und Weiterreißarbeit) ist vermutlich, dass in Deutschland Holzstoff in erster Linie durch Altpapier substituiert wurde. Dies führt zu einer prozentualen Steigerung des Zellstoffanteils im Altpapier (**Abb. 49**). Durch die Verschiebung des Einsatzverhältnisses von Holzstoff und Zellstoff entsteht eine Faserstoffverschiebung im Altpapier die wiederum den Einfluss des innerhalb der letzten 26 Jahre gestiegenen Aschegehaltes überlagert. Von 1984 bis heute ist der Anteil an eingesetztem Holzstoff stetig von 33 % auf 24 % zurückgegangen. Die größte Verschiebung des Einsatzverhältnisses von Holzstoff und Zellstoff war in der Dekade zwischen 1984 und 1994. In dieser Dekade ist ebenfalls der größte Anstieg der Festigkeitseigenschaften in den untersuchten Altpapiersorten zu verzeichnen. Dies trifft außerdem für die im Weiteren betrachteten Festigkeitseigenschaften der braunen Altpapiersorten (Ring- und Flachstauchwiderstand) zu (vgl. Kapitel 3.5.2).

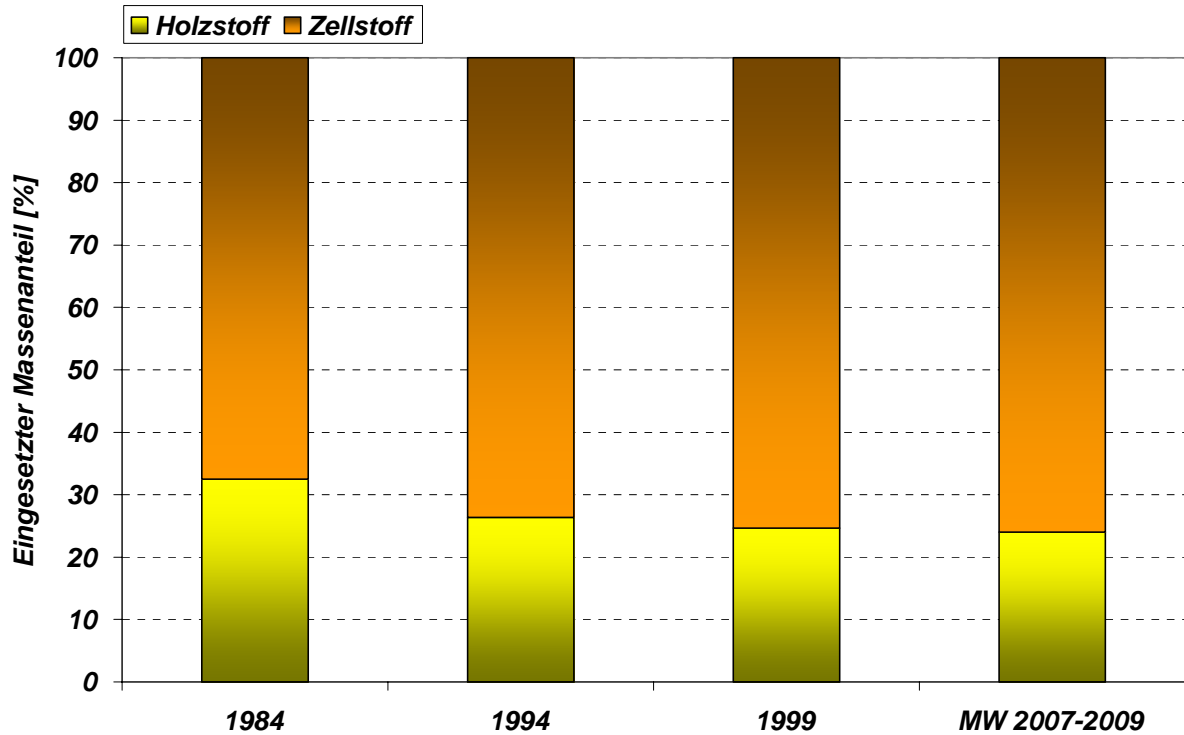


Abb. 49: Verhältnis Holzstoff- / Zellstoffeinsatz in Deutschland

Für den Festigkeitsparameter Berstfestigkeit liegen nur Daten aus vorangegangenen Untersuchungen der 90er Jahre vor. Diese sind in **Abb. 50** dargestellt. Für die untersuchten Altpapiersorten konnten im Vergleich zu 1999 keine signifikanten Änderungen festgestellt werden.

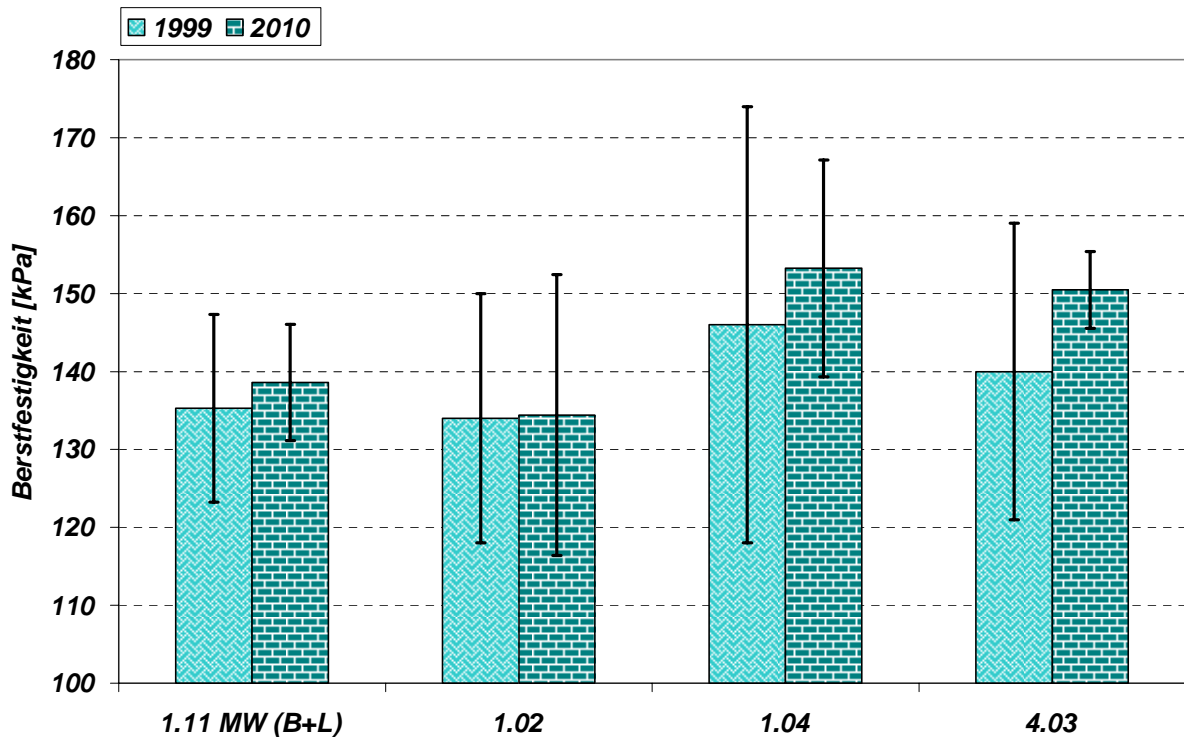


Abb. 50: Berstfestigkeit der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1999 und 2010

3.5.2 Ring-, Streifen- und Flachstauchwiderstand

Flach-, Ring- und Streifenstauchwiderstand sind relevante mechanische Eigenschaften von Verpackungspapieren bzw. Wellpappenrohpapieren. Daraufhin wurden bei den braunen Altpapiersorten (1.02, 1.04 und 4.03) weitere Messungen der Festigkeitseigenschaften (RCT, SCT und CMT) anhand von Laborblättern mit einem durchschnittlichen Flächengewicht von 130 g/m² und einer mittleren Dicke der Laborblätter von 217 µm nach den entsprechenden DIN-Normen durchgeführt

In den braunen Altpapiersorten ist der RCT von 1984 an bis 1999 kontinuierlich angestiegen. Mit Ausnahme der Altpapiersorte 1.02 ist für die Zeit von 1999 bis 2010 erstmals ein rückläufiger bzw. ein nicht weiter ansteigender RCT gemessen worden (**Abb. 51**). Da die Stauchfestigkeit auch von den Anteilen an Faserkurz- und Faserlangstoff abhängt ist nicht zu vernachlässigen, dass sich der Anteil an Faserlangstoff innerhalb der Jahre 1999-2010 erheblich verringert hat. Dies drückt sich durch verringerte bzw. nicht weiter ansteigende Festigkeitseigenschaften aus.

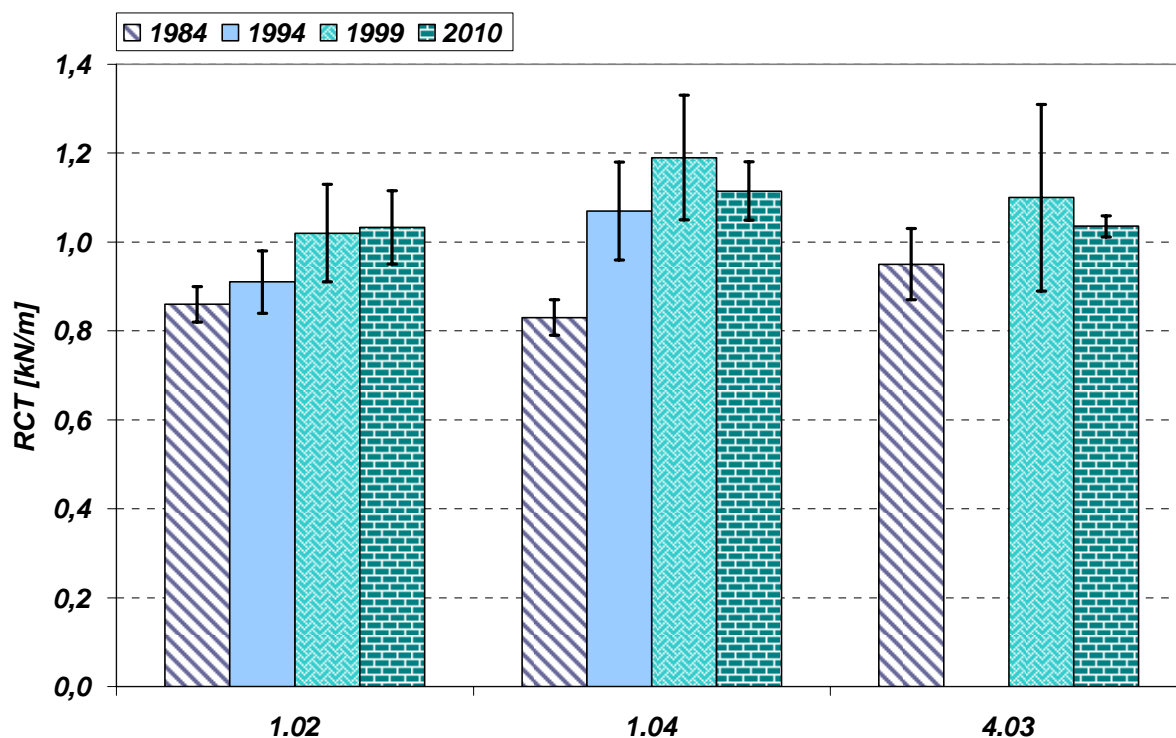


Abb. 51 Ringstauchwiderstand (RCT) der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010

Da die Messung des SCT ebenfalls auf der Stauchfestigkeit beruht, spiegelt sich ein ähnliches Bild zur RCT Messung für die braunen Altpapiersorten. Für 1.04 und 4.03 konnte keine weiter ansteigendes Festigkeitsniveau zwischen 1999 und 2010 festgestellt werden (**Abb. 52**). Alle ermittelten Veränderungen liegen im Bereich des für diese Messungen festgestellten Vertrauensbereiches.

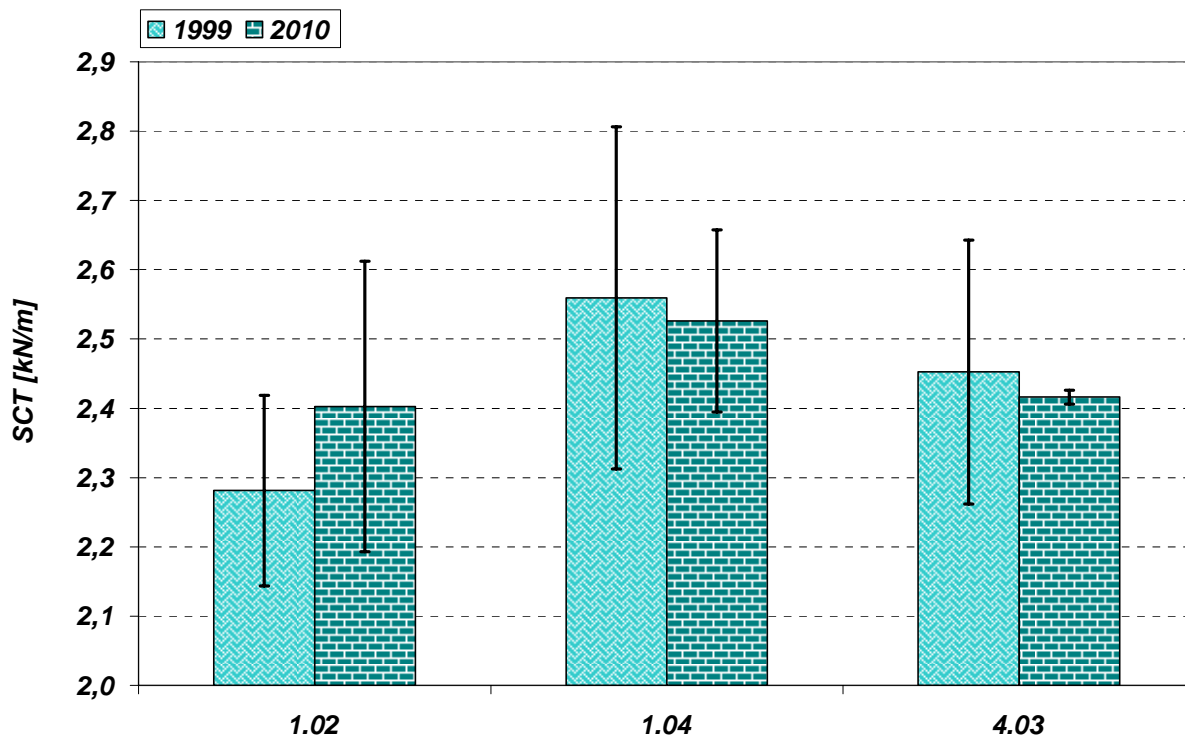


Abb. 52: *Streifenstauchwiderstand (SCT) der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1999 und 2010*

Analog zu den Messungen von RCT und SCT ist der Festigkeitswert des CMT in den braunen Altpapiersorten innerhalb von 1999 bis 2010 leicht zurückgegangen bzw. steigt nicht weiter an obwohl in den Vorjahren von 1984 an bis 1999 ein Anstieg im Festigkeitsniveau zu verzeichnen war (**Abb. 53**). Dies ist vermutlich ebenfalls auf den drastisch reduzierten Anteil an Faserlangstoff zurückzuführen.

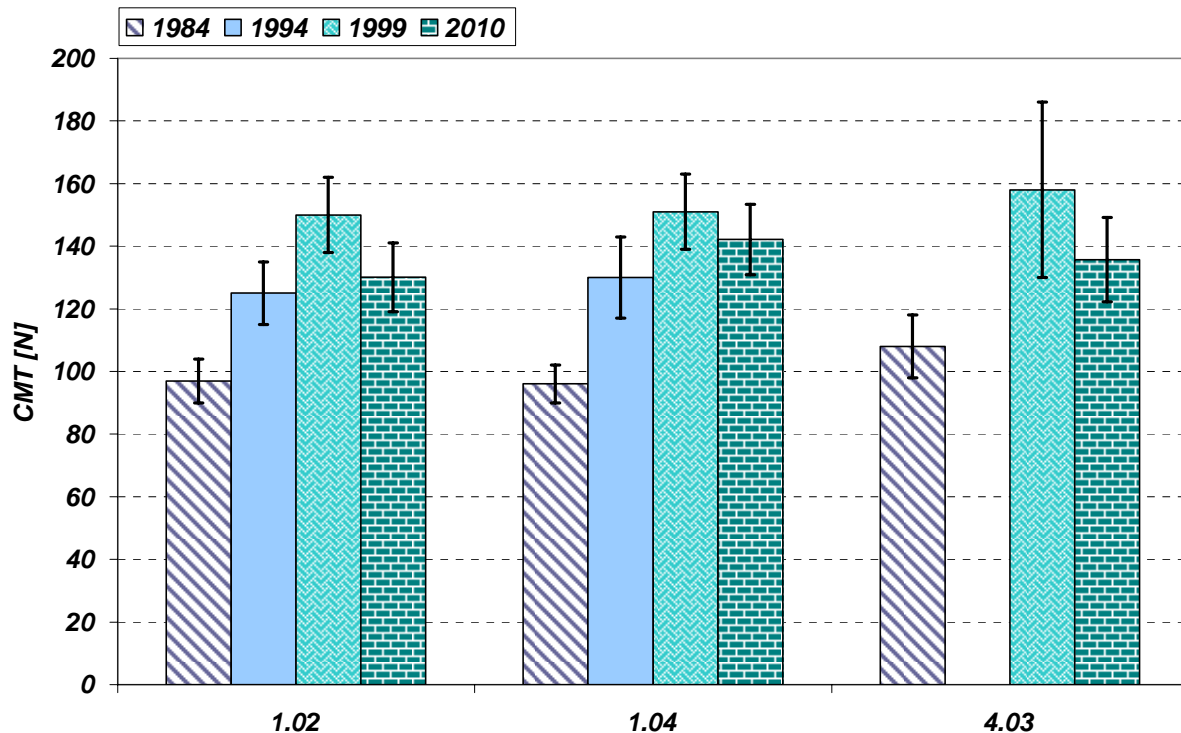


Abb. 53 Flachstauchwiderstand (CMT) der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010

3.6 Chemische Inhaltstoffe

Während der Altpapieraufbereitung gehen organische und anorganische Stoffe, soweit sie wasserlöslich sind, aus dem Altpapier in Lösung. Diese Stoffe belasten sowohl den Wasserkreislauf der Papierfabrik als auch das Abwasser und können zudem die Wirksamkeit von Additiven beeinträchtigen. Außerdem gibt es Inhaltsstoffe, die nach der Altpapieraufbereitung noch an den Fasern haften und den Verwendungszweck der Altpapierprodukte einschränken können. Im Rahmen der Untersuchung wurden die Summenparameter Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) und Organische Halogenverbindungen (OX) sowie Diisopropylnaphthalin (DIPN), Pentachlorphenol (PCP) und Phthalate analysiert.

Der CSB wurde im Filtrat der über Weißbandfilter entwässerten Stoffprobe bestimmt. Aufgrund der aufwändigen Probenvorbereitung zur Bestimmung von OX und PCP sowie der erwarteten niedrigen Belastung mit diesen Substanzen wurden diese Analysen an Mischproben durchgeführt. Zur Analyse der Altpapiersorte 1.11 in loser Lieferform wurde jeweils aus den Proben einer Papierfabrik eine Mischprobe hergestellt. Insgesamt wurden neun Proben der Altpapiersorte 1.11 in loser Lieferform analysiert. Zur Analyse der Altpapiersorten 1.11, 1.02, 1.04 und 4.03 in Ballenlieferform wurde je Lieferung und Altpapiersorte eine Mischprobe hergestellt. Insgesamt wurden hier sieben Lieferungen 1.11, jeweils neun Lieferungen 1.02 und 1.04 sowie zwei Lieferungen 4.03 analysiert.

3.6.1 Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

Der CSB ist die Masse an Sauerstoff, die zur chemischen Oxidation organischer Substanzen in wässriger Lösung benötigt wird. Der CSB ist die Standardgröße zur Beschreibung der organischen Belastung eines Kreislaufwassers oder eines Abwassers und ein Parameter des Abwasserabgabengesetzes. Die CSB-Belastung im Wasserkreislauf von Papierfabriken ist unter anderem stark abhängig von der Prozessführung, z. B. dem Grad der Kreislaufschließung, dem Frischwassereinsatz, den Stoffverweilzeiten und den verwendeten Rohstoffen und Additiven. Die im Stoff- und Wasserkreislauf einer Papierfabrik relevanten löslichen Substanzen sind zum einen lösliche Bestandteile aus dem Holz, wie z. B. Monosaccharide und andere Abbauprodukte der Zellulose und der Hemicellulosen, Ligninabbauprodukte, aber auch chemische Additive wie Leimungsmittel, Stärken, Konservierungs-, Fällungs- und Fixiermittel.

Die Tendenz eines sinkenden CSB-Potenzials der Altpapiersorte 1.11 von 1996 bis 1999 wurde mit einem leicht gesunkenen spezifischen CSB im Jahr 2010 bestätigt (**Abb. 54**). Verbunden mit Verbesserungen in der Prozessführung (Reinigungsmaßnahmen, Prozesswasserführung, Chemikaliendosierung) bei der Papierherstellung, führte die Substituierung der Primärfaserstoffe durch die mehrfach rezyklierten Fasern des Altpapiers zu einer Reduzierung des spezifischen CSB des Rohpapiers.

Demgegenüber steigt der spezifische CSB in den braunen Altpapiersorten 1.02 und 1.04 weiter an. Dies könnte aus einem zunehmenden Stärkeinsatz bei der Herstellung von Verpackungspapieren resultieren. Dies trifft allerdings nicht auf die braune Altpapiersorte 4.03 zu, hier wurde kein Anstieg des CSB-Werts ermittelt.

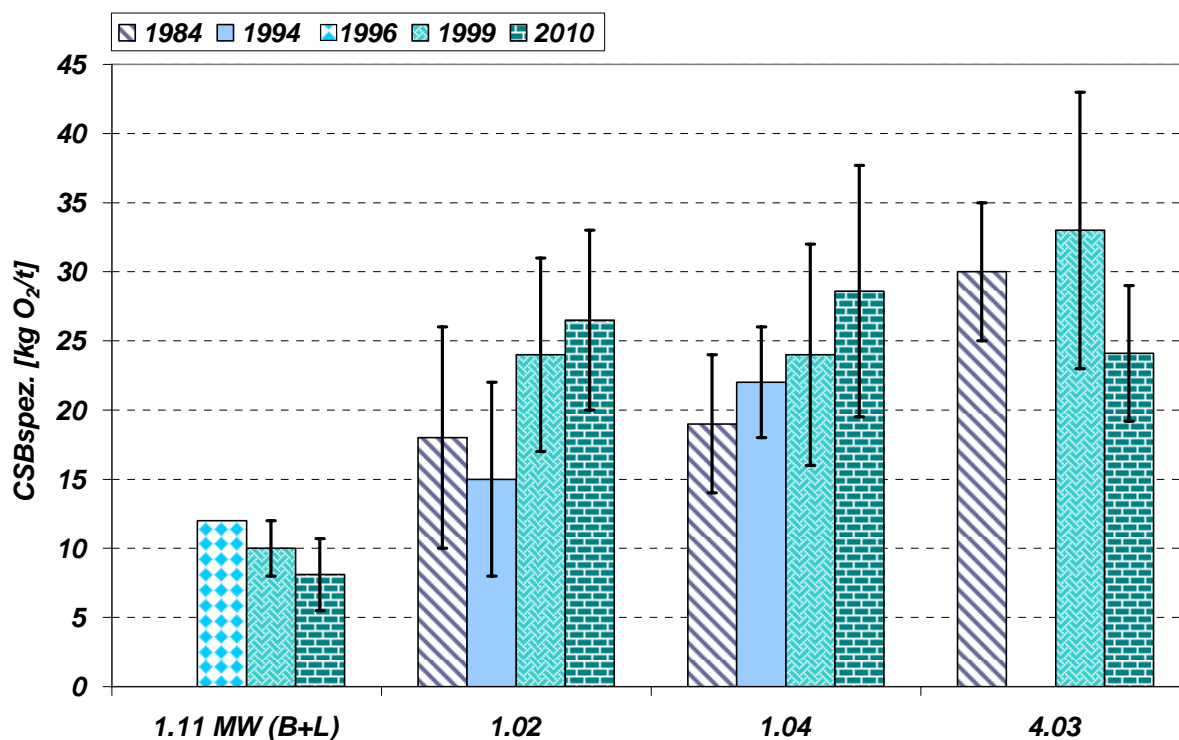


Abb. 54: Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1984-2010

3.6.2 Organische Halogenverbindungen (OX)

OX ist die international übliche Abkürzung für organische Halogenverbindungen (X steht für Halogen). Die Substanzen dieser Stoffklasse gelten als überwiegend nicht natürlichen Ursprungs und als schwer abbaubar. Zwischen OX-Konzentration und Toxizität lässt sich bei der Untersuchung von Abwässern keine Korrelation erkennen. Wegen der vielfältigen bedenklichen Eigenschaften dieser Stoffgruppe wird eine möglichst weitgehende Vermeidung des Eintrags in die Umwelt angestrebt. Eine Hauptquelle halogenorganischer Verbindungen war zunächst die Zellstoffbleiche mit Chlor und Chlorverbindungen. Der Wechsel auf Sauerstoff, Peroxid oder Ozon führte zu einer erheblichen Verringerung des Anteils halogenorganischer Verbindungen. Als weitere Quelle sind neben gebleichten Zellstoffen chemische Additive wie z. B. Nassfestmittel, Schleimbekämpfungs- und Reinigungsmittel zu nennen, deren Wirkstoffe oder Begleitstoffe halogenorganische Verbindungen enthalten können. Die Höhe der Belastung ist von der Einsatzmenge abhängig. Die Verteilung der Belastung auf Abwasser, Produkt und Reststoff hängt von der Additivretention ab. Im Jahr 1990 wurden noch von der Papiertechnischen Stiftung (PTS) verschiedene Hygienepapiere auf Altpapierbasis untersucht, die beträchtliche OX-Gehalte aufwiesen [51]. Inzwischen hat die Zuliefererindustrie bereits bei vielen Produkten Maßnahmen ergriffen, um die halogenorganische Belastung zu senken.

Im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungen der 90er Jahre hat sich der OX-Gehalt in den Altpapiersorten 1.02 und 4.03 deutlich reduziert (im Mittel um 63 mg/kg TS). Aus der Untersuchung der Altpapiersorten 1.11 und 1.04 resultiert keine signifikante Änderung des OX-Gehaltes im Vergleich zu den Untersuchungen im Jahr 1999 (**Abb. 55**). Der mittlere OX-Gehalt (150 mg/kg) der untersuchten Altpapiersorten ist geringer als der mittlere OX-Gehalt der 1999 (178 mg/kg) untersuchten altpapierhaltigen Papiere.

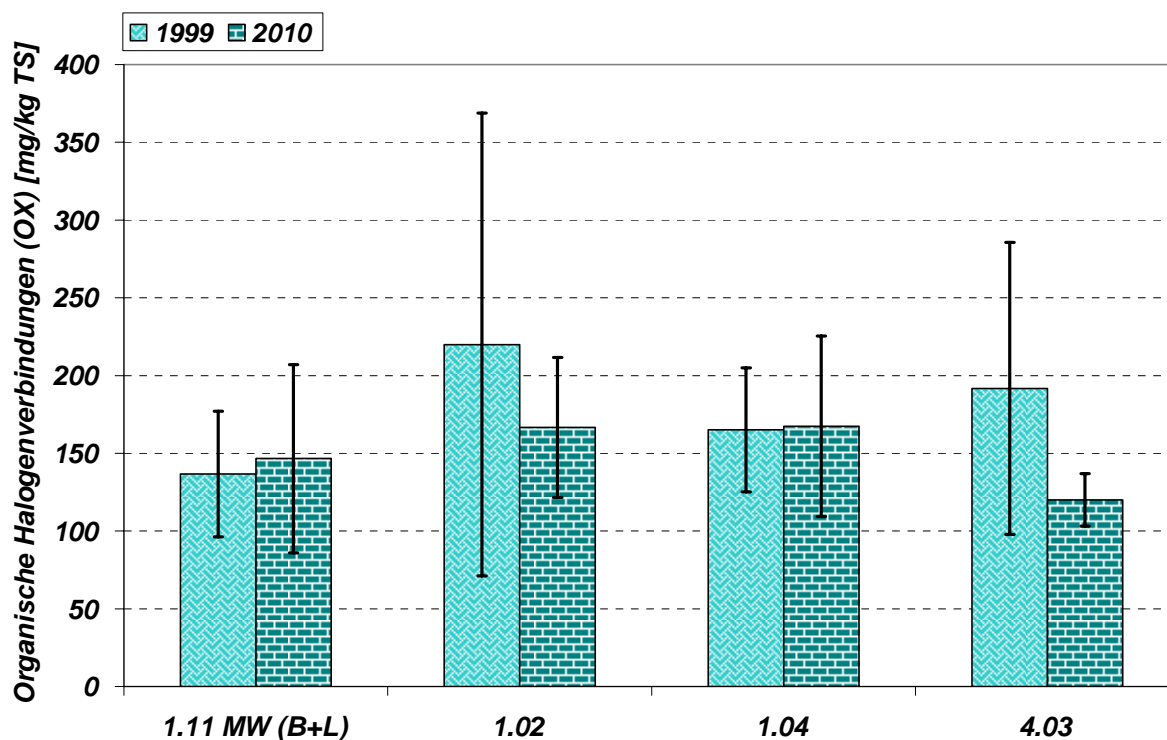


Abb. 55: *Gehalt organischer Halogenverbindungen (OX) der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1999 und 2010*

3.6.3 Pentachlorphenol (PCP)

PCP gehört zur Gruppe der Chlorphenole. PCP hat fungizide und bakterizide Eigenschaften und ist deshalb ein starkes Gift für Bakterien, Algen, Pilze, Hefen und Insekten, insbesondere für Holzschädlinge. PCP-Verbindungen wurden daher in großem Umfang als Holzschutzmittel sowohl in der Forstwirtschaft, im Baubereich als auch in der Möbelindustrie angewandt. Aufgrund seiner bakteriziden Eigenschaften war PCP eine äußerst wirkungsvolle Substanz zur Schleimbekämpfung im Papierherstellungsprozess. Andererseits gehen von PCP schwerwiegende toxikologische und ökotoxikologische Wirkungen aus. Dies veranlasste die deutsche Papierindustrie, bereits 1971 im Rahmen einer freiwilligen Selbstverpflichtung auf den Einsatz von PCP als Schleimverhinderungsmittel zu verzichten. Im Jahr 1989 wurden die Produktion und der Einsatz von PCP in Deutschland nach Inkrafttreten des Verwendungsverbots eingestellt. Nach dem Produktionsstopp in Deutschland stieg die PCP-Produktion in anderen europäischen Staaten zunächst an, so dass derartig behandelte Papiere über Importe von Altpapier und verpackt gelieferter Güter weiterhin in den nationalen Altpapierkreislauf eintreten konnten. In den 90er Jahren wurden ein neuer PCP-Grenzwert sowie Nachweismethode und Nachweisgrenze von Toxikologen in der Expertenkommission des Europarates diskutiert. Seitdem ein Grenzwert als Reinheitsanforderung für Papiere mit Lebensmittelkontakt vom Europarat verabschiedet wurde, ist der Gehalt an PCP in Papieren deutlich gesunken. Dies wurde u. a. bereits im INFOR-Projekt Nr. 73 „Untersuchungen zum Verhalten unerwünschter Inhaltstoffe im Altpapier-Neupapier-Kreislauf“ bestätigt [52].

Um den Vergleich zu vorangegangenen Untersuchungen zu ermöglichen, musste die Bestimmung des Gehaltes an PCP abweichend zur heutigen Bestimmung im KWE nach dem damaligen Verfahren erfolgen.

In Deutschland gilt heute der in der Empfehlung XXXVI festgelegte Grenzwert. Dieser schreibt einen maximalen Gehalt an PCP von 150 µg/kg im Kaltwasserextrakt (KWE) in fertigem Papier vor [53].

Aufgrund der neuen Bestimmungsmethode und der dafür festgelegten Grenzwerte, wurde der Gehalt an PCP zusätzlich mittels Kaltwasserextrakt bestimmt (**Abb. 56**). Im Mittel über alle untersuchten Altpapiersorten beträgt der Gehalt an PCP (mittels KWE) heute nur 13 µg/kg TS und liegt somit weit unter dem Grenzwert von 150 µg/kg in fertigen Papieren.

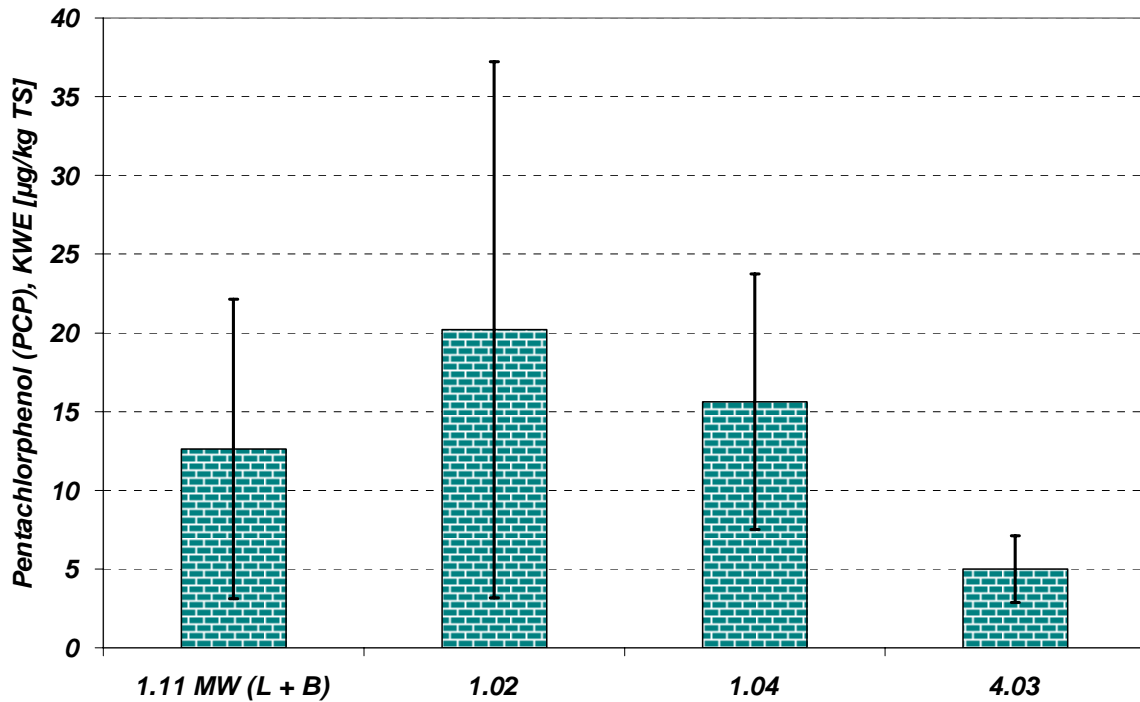


Abb. 56: *Gehalt an Pentachlorphenol (PCP) mittels Kaltwasserextrakt (KWE) der untersuchten Altpapiersorten im Jahr 2010*

In **Abb. 57** sind die mittels Methanolextrakt ermittelten Gehalte an PCP der untersuchten Altpapiersorten im Vergleich zu den Ergebnissen der 90er Jahre dargestellt. In allen Altpapiersorten ist ein signifikanter Rückgang des Gehalts an PCP ersichtlich. Im Mittel über alle untersuchten Altpapiersorten beträgt der Gehalt an PCP (mittels Methanolextrakt) heute nur noch 33 µg/kg TS, während dieser im Jahr 1999 noch 52 µg/kg TS betrug.

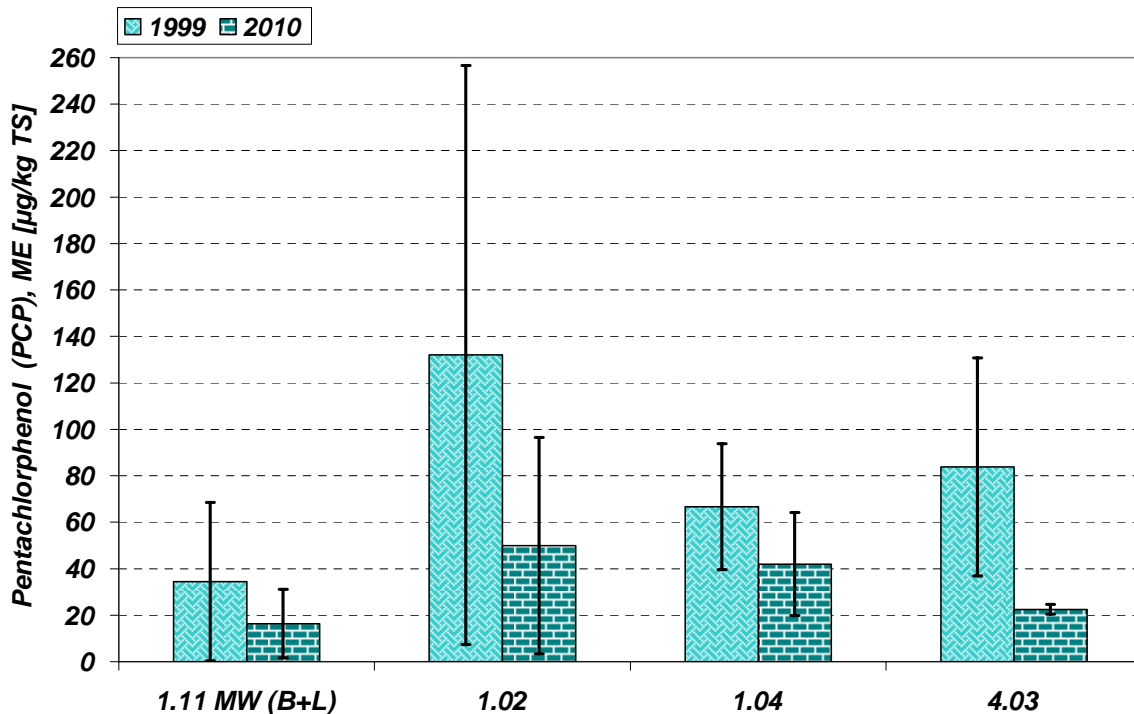


Abb. 57: *Gehalt an Pentachlorphenol (PCP) mittels Methanolextrakt (ME) der untersuchten Altpapiersorten in den Jahren 1999 und 2010*

3.6.4 Di-isopropylnaphthalin (DIPN)

DIPN wird in der Papierindustrie als Lösungsmittel für Farbbildner in Selbstdurchschreibepapieren eingesetzt, wo es in den 80er Jahren vor allem das wesentlich stärker toxische PCB und später chlorierte Paraffine abgelöst hat. Durch den Wiedereinsatz von Altpapier zur Herstellung neuer Papierprodukte kann DIPN in Spurenkonzentrationen in Papieren, auch für den Lebensmittel-Kontakt, vorkommen und sowohl durch den direkten Kontakt als auch über die Gasphase in das Lebensmittel migrieren.

In den letzten 10 Jahren sind zahlreiche Untersuchungen zur Konzentration von DIPN in Kartonverpackungen und anderen Lebensmittelverpackungspapieren durchgeführt worden. Dabei wurde festgestellt, dass ein großer Teil der Lebensmittelverpackungskartons DIPN-Gehalte mit einem Mittelwert von ca. 30 mg/kg aufwies, wobei auch Maximalkonzentrationen von 70 mg/kg gemessen worden sind. Ca. 1/3 des Gesamtgehalts an DIPN im Lebensmittel-Karton ist tatsächlich migrationsfähig, so dass auch im Lebensmittel nennenswerte DIPN-Konzentrationen (max. 1 mg/kg) gefunden worden sind. DIPN migriert im Wesentlichen über die Gasphase. Auch Zwischenverpackungen schützen das Lebensmittel nicht immer wirksam gegen DIPN aus der Umverpackung.

Obwohl DIPN in relevanten Größenordnungen in Lebensmittel-Kontaktpapieren vorkommt, gibt es keine belastbaren toxikologischen Daten, die eine Grenzwertfestsetzung für DIPN im Lebensmittel-Kontaktpapier rechtfertigen würden. Aber auch unter der theoretischen Annahme, dass nahezu 100 % des in der Verpackung enthaltenen DIPN in das Lebensmittel migrieren können, gibt es bei den heute üblichen Gehalten < 40 mg DIPN / kg Papier keine Anhaltspunkte für Schädigungen der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt. Sowohl in der Empfehlung XXXVI des BfR als auch im Techn. Doc. No. 3 der Europarat-Resolution findet sich das Minimierungsgebot für DIPN in Lebensmittel-Kontaktpapieren, das vor allem dem Vorsorgegedanken Rechnung trägt. Der Arbeitskreis Lebensmittelchemischer Sachverständiger hält einen Gehalt von weniger als 100 mg/kg für technisch möglich und sinnvoll. Dieser Wert wird in den heute in Deutschland produzierten Lebensmittel-Kartons und anderen Lebensmittel-Kontaktpapieren auch bei 100 % Altpapier-Einsatz sicher eingehalten. Das Flotationsdeinking hat sich als wirksame Verfahrenstechnik zur Entfrachtung des Altpapiers von DIPN erwiesen.

In diesem Forschungsprojekt wurden die verschiedenen Altpapiersorten auf ihren Gehalt an DIPN untersucht. Die Ergebnisse sind in **Abb. 58** dargestellt. In allen untersuchten Altpapiersorten (1.11, 1.02, 1.04 und 4.03) liegt der Gehalt an DIPN weit unter 50 mg/kg. Die DIPN-Gehalte der Altpapiersorte 1.11, 1.02 und 1.04 liegen zwischen 20-25 mg/kg. Der maximale Gehalt an DIPN der Altpapiersorte 4.03 beträgt sogar nur 17 mg/kg.

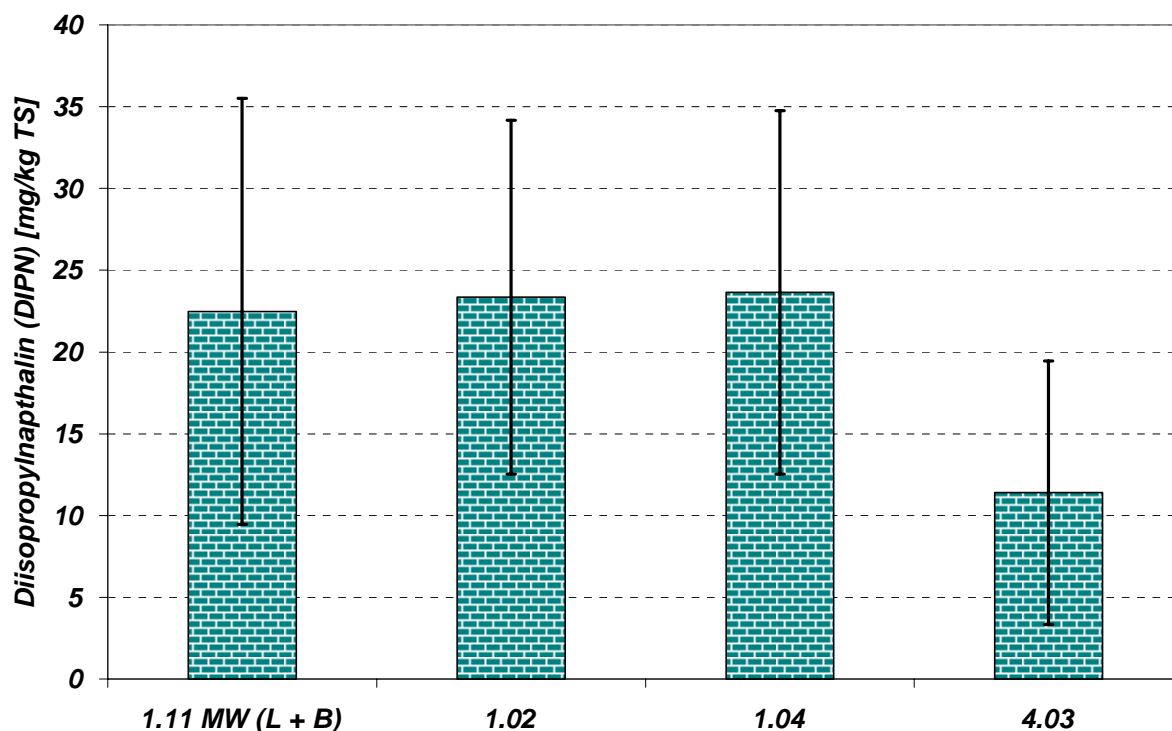


Abb. 58: Gehalt an Di-isopropylnaphthalin (DIPN) der untersuchten Altpapiersorten im Jahr 2010

3.6.5 Phthalate

Die Haupteintragsquelle in den Altpapier-Recyclingkreislauf von Di-isobutylphthalat resultiert aus der Verwendung von Dispersionklebstoffen bei der Endverarbeitung von Faltschachtelkartonagen. Di-n-butylphthalat wird vorwiegend als Weichmacher eingesetzt und kommt hauptsächlich in Kunststoffen und Klebstoffen aber auch in Druckfarben und Lacken zur Anwendung. Ebenfalls wird Di-ethyl-hexylphthalat als Weichmacher in Kunststoffen verwendet. Vereinzelt wurden in einigen Proben andere als die bereits erwähnten Phthalate wie z. B. Di-methylphthalat oder Di-ethylphthalat gemessen.

Durch Adsorption an den Fasern können Substanzen wie Phthalate über das Altpapier in den Recyclingkreislauf gelangen. Aus Recyclingpapieren und -kartonagen mit Lebensmittelkontakt können Phthalate über die Gasphase in Lebensmittel migrieren. Einige Phthalate stehen im Verdacht, fortpflanzungsgefährdende Wirkung auf Mensch und Tier auszuüben. Daher sind für den Übergang auf Lebensmittel Grenzwerte für Phthalate in der Empfehlung XXXVI „Papier, Kartons und Pappen für den Lebensmittelkontakt“ [53] festgelegt. Für den Gehalt in Fertigpapieren bestehen keine Grenzwerte. Weitere Bestimmungen zum Umgang mit/Einsatz von Phthalaten sind z. B. in der EU-Richtlinie 76/769/EWG „Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Phthalate in Spielzeug und Babyartikeln)“ [54] geregelt.

Laut Empfehlung XXXVI gelten folgende Bedingungen für die Verwendung von wiedergewonnenen Fasern als Papierrohstoffe:

Grundsätzlich müssen die aus wiedergewonnenen Fasern gefertigten Erzeugnisse den sonstigen Anforderungen der Empfehlung XXXVI entsprechen. Zusätzliche Anforderungen bestehen hinsichtlich von Stoffen, die z. B. als Bestandteile von Druckfarben oder Klebstoffen in den als Rohstoff verwendeten Altpapieren vorhanden sein können. Bezüglich der Übereinstimmung mit den Regeln der guten Herstellungspraxis ist dem möglichen Vorhandensein solcher Stoffe, abhängig von der vorgesehenen Verwendung der aus wiedergewonnenen Fasern hergestellten Papiere, Kartons und Pappen, durch eine sorgfältige Auswahl der Altpapierqualitäten ^{b} und die Anwendung von geeigneten Reinigungstechnologien Rechnung zu tragen. Darüber hinaus ist im Hinblick auf die Einhaltung der Anforderungen des Art. 3 der Verordnung 1935/2004/EG eine besondere Sorgfaltspflicht bei der Analytik der Erzeugnisse hinsichtlich des möglichen Übergangs von gesundheitlich bedenklichen Stoffen auf Lebensmittel geboten.

Nachfolgend (**Tabelle 6**) sind die entsprechend dem gegenwärtigen Stand des Wissens bekannten Substanzen aufgeführt, die über das Papier-Recycling eingetragen werden können und die eine besondere Kontrolle erfordern. Die angegebenen Beschränkungen in Bezug auf ihren Gehalt bzw. ihren Übergang auf Lebensmittel sind einzuhalten [53].

Tabelle 6: *Migrationsgrenzwerte für den Übergang auf Lebensmittel von Phthalaten*

Substanz	Übergang auf Lebensmittel bzw. Lebensmittelsimulanz
Di-isobutylphthalat	höchstens 1,5 mg/kg
Di-n-butylphthalat	höchstens 0,3 mg/kg
Di-ethylhexylphthalat	höchstens 1 mg/kg, für Säuglingsnahrung höchstens 0,5 mg/kg ^{c} . Die Summe von Di-n-butylphthalat und Di-isobutylphthalat darf 1 bzw. 0,5 mg/kg nicht überschreiten ^{c}

Grenzwerte für die genannten Phthalate in Papieren mit Lebensmittelkontakt sind weder in der Empfehlung XXXVI noch in der Europarat-Resolution (hier nur Migrationsgrenzwert) festgelegt, auch die Normen zur Umweltzeichenvergabe für den „Blauen Engel“ sehen derzeit keine Phthalat-Begrenzungen vor. Im Jahr 2005 wurde im Rahmen eines INFOR-Forschungsprojektes „Untersuchungen zum Verhalten unerwünschter Inhaltsstoffe im Altpapier-Neupapier-Kreislauf“ eine umfangreiche Untersuchung durchgeführt. Bei der Konzentration der Phthalate in den Papierproben ergab sich kein einheitliches Bild. Offensichtlich gab es in einigen Fällen durch die Hersteller von Lacken, Farben, Tinten, Klebstoffen und anderen Formulierungen Substitutionen einzelner Phthalate durch andere Vertreter der Substanzklasse [52].

^{b} Ausgenommen sind jedoch die Sorte 5.01 (Altpapier, gemischt; vgl. Liste der Europäischen Standard-sorten für Altpapier und Pappe, DIN EN 643) sowie, Papiere, Kartons und Pappen aus Gesamtmüll-Sortieranlagen und aus der Mehrkomponenten-Erfassung.

^{c} temporärer Richtwert vgl. „Kurzprotokoll der außerordentlichen Sitzung der Arbeitsgruppe Papier, Karton und Pappe vom 05. Juli 2007 im BfR „Di-isobutylphthalat in Papieren und Kartons für den Kontakt mit Lebensmittel“ (http://www.bfr.bund.de/cm/216/di_isobutylphthalat_in_papieren_und_kartons_fuer_den_kontakt_mit_lebensmitteln.pdf) [53].

In den Altpapiersorten 1.11, 1.02, 1.04 und 4.03 sind mengenmäßig am stärksten Di-isobutylphthalat, Di-n-butylphthalat und Di-ethyl-hexylphthalat vertreten. Ebenfalls ist ein deutlicher Trend einer zunehmenden Konzentration dieser Phthalate von 1.11 über 1.02 und 1.04 zu erkennen. Dies ist analog zur Zunahme des Anteils an Verpackungspapier und Karton in diesen Altpapiersorten. Dementsprechend sind in der Altpapiersorte 1.04 die höchsten Konzentrationen an Di-isobutylphthalat, Di-n-butylphthalat und Di-ethyl-hexylphthalat enthalten. Da nur zwei Lieferungen der Altpapiersorte 4.03 untersucht werden konnten, ist jeweils der minimale und maximale Wert in **Tabelle 7** eingetragen. Die große Abweichung lässt sich dadurch erklären, dass die Altpapiersorte meist direkt aus Produktionsabfällen generiert wird. Vermutlich kann in einer der Proben ein höherer Anteil an bereits verklebten Endprodukten enthalten sein.

Die in der Altpapiersorte 1.11 vorkommenden Phthalate, Di-ethylphthalat und Benzylbezonat, wurden in den braunen Sorten 1.04 und 4.03 nicht ermittelt. In der Altpapiersorte 1.02 wurden diese beiden Phthalate nur jeweils in drei von neun untersuchten Lieferungen in Spuren ermittelt. Benzyl-butylphthalat kommt dahingegen vorwiegend in den Altpapiersorte 1.02 und 1.04 vor, allerdings ebenfalls nur in sehr geringen Konzentrationen.

Tabelle 7: Ergebnisse der Phthalatuntersuchung für die Altpapiersorten 1.11, 1.02, 1.04 und 4.03

<i>Parameter [mg/kg TS]</i>	<i>Altpapiersorte 1.11</i>			<i>Altpapiersorte 1.02</i>		
	<i>Minimum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Maximum</i>	<i>Minimum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Maximum</i>
Di-ethylphthalat		1,2*		1,0	1,4**	2,1
Benzyl-bezonat	1,0	1,6	3,2	0,2	1,1**	2,1
Di-isobutylphthalat	2,2	8,5	14,8	12,6	24,8	37,5
Di-butylphthalat	1,1	3,9	16,5	3,4	8,1	19,0
Benzyl-butylphthalat				1,2	2,8	9,9
Di-ethyl-hexylphthalat	2,0	6,3	13,8	5,7	14,8	28,2
	<i>Altpapiersorte 1.04</i>			<i>Altpapiersorte 4.03</i>		
	<i>Minimum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Maximum</i>	<i>Minimum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Maximum</i>
Di-methylphthalat		3,8*				
Di-isobutylphthalat	9,6	37,2	81,7	8,0		45,6
Di-butylphthalat	1,7	7,5	17,9	1,9		8,6
Benzyl-butylphthalat	1,3	1,4	1,6		1,3*	
Di-ethyl-hexylphthalat	9,6	37,2	81,7	10,0		14,9

*: Vorkommen je Altpapiersorte nur in einer untersuchten Probe

**.: Vorkommen je Altpapiersorte nur in drei untersuchten Proben

4 Ergebnisse der Messungen mit dem PaperBaleSensor und dem AP 500 M

Die Untersuchungen mit den beiden Messgeräten (PBS und AP 500 M) wurden nur an den in Papierfabriken untersuchten Ballen, parallel zu den Kernbohrungen mit dem PMV-Kernbohrer, durchgeführt. Die Messverfahren unterscheiden sich nicht nur in ihrer Methodik sondern auch durch unterschiedliche Messpunkte. Für die Messung mit dem PBS wurde in unmittelbarer Nähe des mittels PMV-Kernbohrer entnommenen Bohrkerns ein weiteres Bohrloch in den zu beprobenden Altpapierballen gebohrt. Dieses Bohrloch wurde mit der Messlanze des PBS mehrfach zu allen Seiten des Bohrlochs vermessen. Die Messungen mittels AP 500 M erfolgten lediglich an den äußeren Oberflächen des zu beprobenden Ballens. Für die gravimetrische Messung wurden den luftdicht verpackten Bohrkernen des Kernbohrers jeweils Teilproben an Anfang und Ende sowie der Mitte des Bohrkerns entnommen. Der Feuchtigkeitsgehalt wurde analog zu den Feuchtigkeitsmessungen von loser Ware (in Anlehnung an DIN EN 20287-94) bestimmt.

4.1 Feuchtigkeitsgehalt

Für alle untersuchten Proben wurden Messungen zum Feuchtigkeitsgehalt mit dem PaperBaleSensor (PBS) und dem AP 500 M sowie mittels gravimetrischer Messung im PMV-Labor durchgeführt (**Abb. 59**).

Die mit dem PBS gemessenen Feuchtigkeitsgehalte sind für die Altpapiersorten 1.11, 1.02 und 1.04 etwas geringer als die mit den anderen beiden Verfahren (AP 500 M und gravimetrische Messung). Dies ist darauf zurück zu führen, dass die Messung unmittelbar während der Beprobung über die gesamte Tiefe des zu untersuchenden Ballens erfolgte. Im Gegensatz dazu resultiert der mit dem AP 500 M gemessene Feuchtigkeitsgehalt aus Messungen an der Oberfläche eines Ballens. Meist sind Altpapierballen an den ungeschützten Oberflächen feucht oder sogar nass während sie im inneren des Ballens völlig trocken sein können. Die gravimetrische Messung kann durch systematische Fehler bei der Entnahme des zu untersuchenden Probenmaterials beeinflusst sein. Die aus den Messungen mit allen drei Verfahren resultierenden Ergebnisse liegen für alle Altpapiersorten im Bereich der Standardabweichung und weisen keine signifikanten Unterschiede auf. Der Feuchtigkeitsgehalt mittels der unterschiedlichen Messverfahren liegt ebenfalls im Bereich des 10 % Limits der DIN EN 643.

Bei der Altpapiersorte 1.11 wurden mit dem AP 500 M vereinzelt überdurchschnittlich hohe Feuchtigkeitsgehalte an den Oberflächen einiger untersuchten Ballen gemessen. Daraus ergibt sich im Durchschnitt ein etwas höherer Feuchtigkeitsgehalt als bei den beiden anderen Verfahren. Beim Vergleich der aus den beiden anderen Messverfahren (PBS und gravimetrische Messung) resultierenden Ergebnisse ergaben sich deutlich geringere Feuchtigkeitsgehalte die sich für 1.11 nicht signifikant voneinander unterschieden.

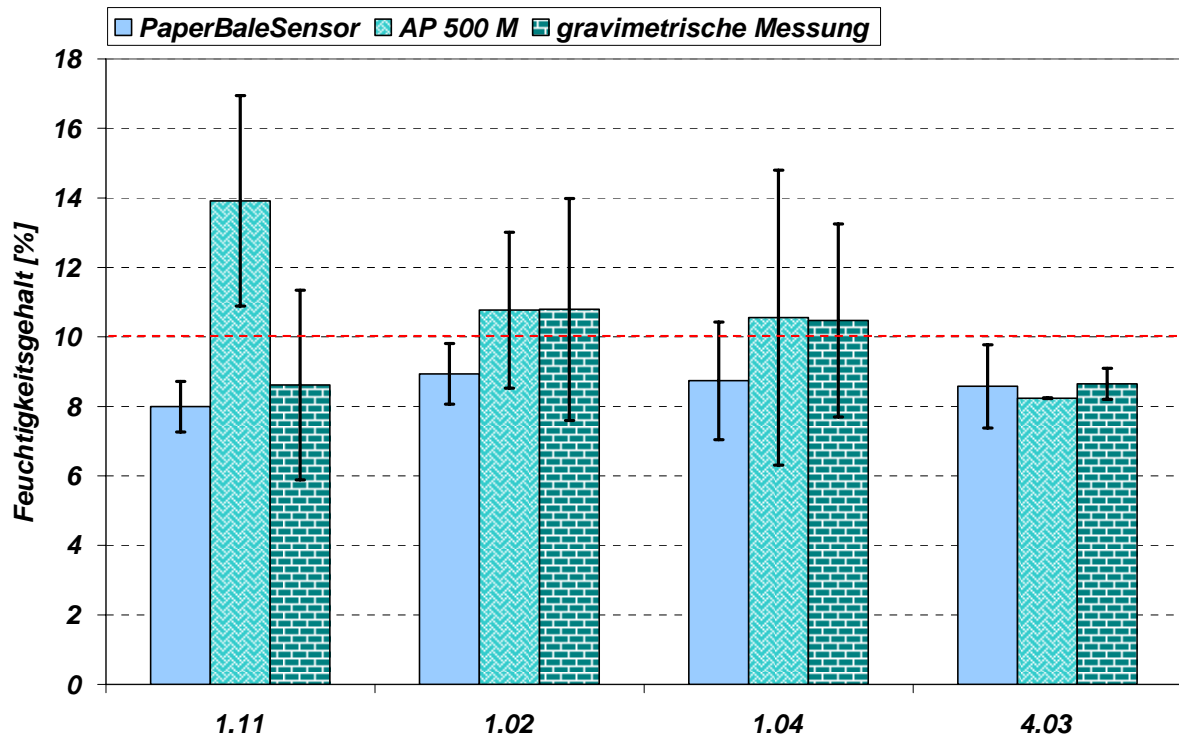


Abb. 59: *Feuchtigkeitsgehalt der untersuchten Altpapiersorten mittels PaperBaleSensor, AP 500 M und gravimetrischer Messung*

4.2 Kunststoffanteil

Am Beispiel der Altpapiersorte 1.02 wurde in **Abb. 60** der Vergleich zwischen den Messwerten des PaperBaleSensors und der Labormessung für den Kunststoffanteil dargestellt. Die Labormessung basiert auf einer manuellen Sortierung mit anschließender Auswertung in Gewichtsprozent. Die Altpapiersorte 1.02 enthält Verpackungspapiere und Karton sowie grafische Papiere und weist die höchste Inhomogenität auf. Dadurch sollten die größten Schwankungsbreiten beider Verfahren erfasst werden.

Mit dem PBS können zum Kunststoffanteil allerdings nur prozentuale Angaben im Bereich von $> 0,5\%$ bis zu maximal 5% erfolgen. Auf die Angabe der Standardabweichung wurde nicht näher eingegangen, da aus der manuellen Sortierung im Labor je Kernbohrung nur ein Ergebnis resultiert.

Aufgrund des vorgegebenen Messbereichs des PBS finden sich keine Werte unterhalb $0,5\%$ und oberhalb von 5% . Die mit den beiden Verfahren ermittelten Kunststoffanteile im Bereich von $0,5\%$ bis ca. 1% wiesen keine signifikanten Varianzen auf. Bei Kunststoffanteilen $< 1\%$ wurden teilweise mittels PBS und teilweise mittels Labormessung höhere Anteile im Vergleich zueinander gemessen. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Bohrlöcher für die beiden Verfahren nicht exakt an der gleichen Stelle angeordnet werden konnten. Die Altpapiersorte 1.02 enthält außerdem den höchsten Gesamtanteil an papierfremden Stoffen von allen untersuchten Altpapiersorten und ist im Vergleich zu diesen wesentlich inhomogener. Die Durchschnittswerte des Kunststoffanteils mittels PBS und Labormessung unterscheiden sich jedoch nicht und liegen im Bereich des für diese Messungen festgestellten Vertrauensbereiches (vgl. Abb. 62).

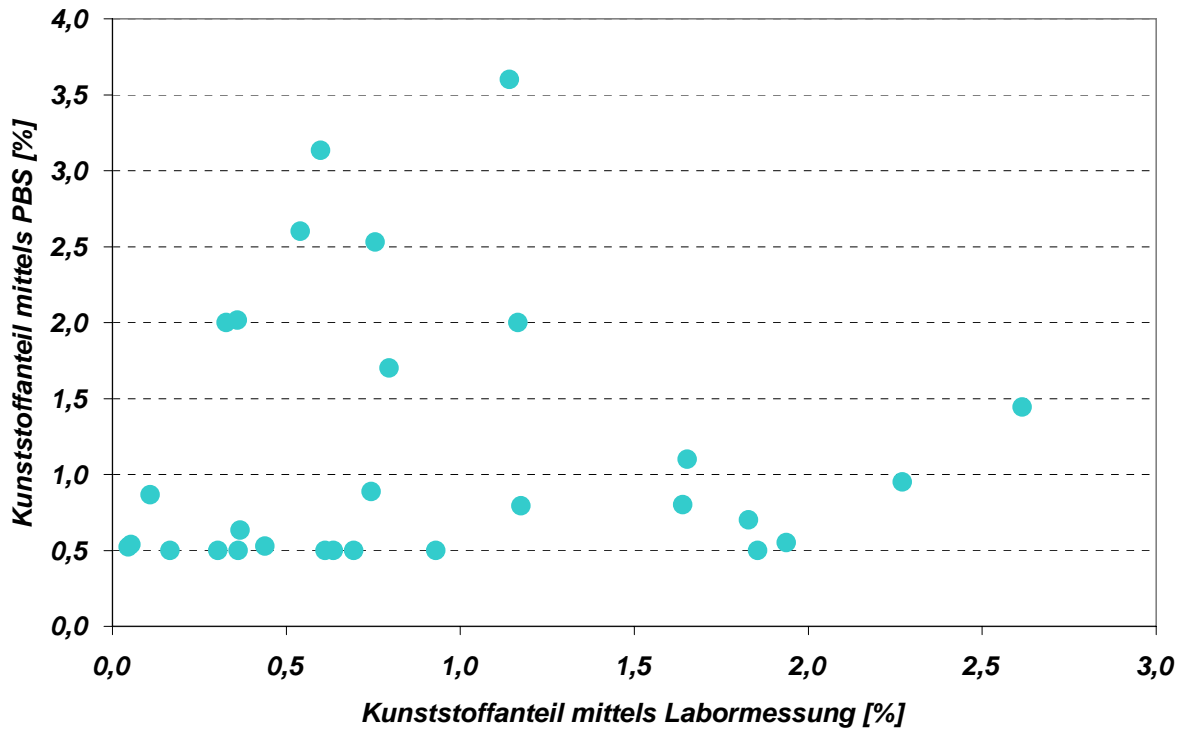


Abb. 60: Kunststoffanteil der Altpapiersorte 1.02 mittels Labormessung und PaperBaleSensor (PBS)

Bei der etwas homogeneren Altpapiersorte 1.04 wurden im Vergleich zur Altpapiersorte 1.02 ähnliche Resultate mit beiden Messverfahren erzielt. Diese sind in **Abb. 61** dargestellt. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Altpapiersorten besteht darin, dass der Kunststoffanteil der Altpapiersorte 1.04 etwas geringer ist als der von 1.02. Des Weiteren wurden bei der Altpapiersorte 1.04 häufiger höhere Kunststoffanteile mittels PBS im Vergleich zur manuellen Sortierung im Labor ermittelt.

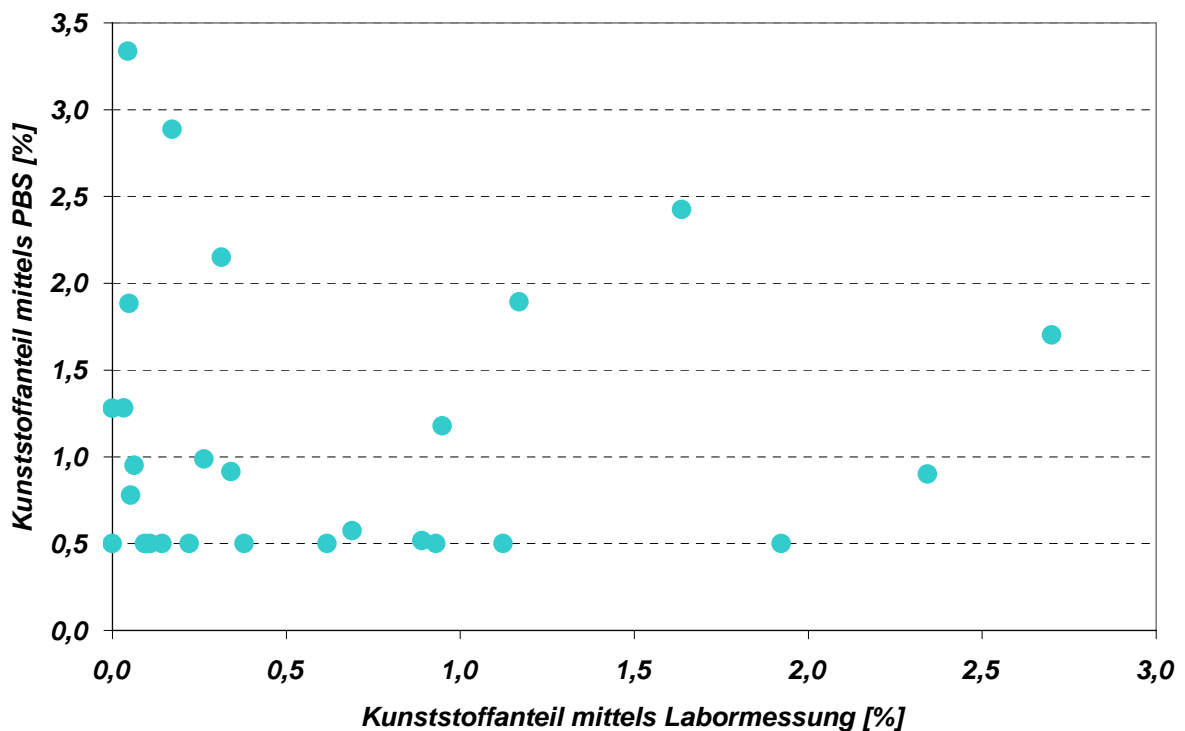


Abb. 61: Kunststoffanteil der Altpapiersorte 1.04 mittels Labormessung und PaperBaleSensor (PBS)

Aus der Ermittlung des Kunststoffanteils mittels PaperBaleSensor und manueller Sortierung im Labor resultiert nur bei der Altpapiersorte 1.04 eine Abweichung zwischen den Durchschnittswerten der beiden Verfahren (**Abb. 62**). Bei der Altpapiersorte 1.04 wurden mittels PBS im Durchschnitt etwas höhere Kunststoffanteile als mittels manueller Sortierung im Labor ermittelt. Dies ist vermutlich

Ein erheblicher Einfluss auf die Messergebnisse geht daraus hervor, dass die Bohrlöcher für die beiden Verfahren nicht exakt an der gleichen Stelle angeordnet werden konnten. Somit konnte nie exakt die gleiche Messstelle eines Altpapierballens beurteilt werden.

Dennoch sind die aus den Messungen der beiden Verfahren resultierenden Ergebnisse unter Einbezug der Standardabweichung (mit Ausnahme der Altpapiersorte 1.04) für den Kunststoffanteil durchaus miteinander vergleichbar. Bei den Altpapiersorten 1.11, 1.02 und 4.03 bestehen für den Kunststoffanteil keine signifikanten Unterschiede zwischen den angewandten Verfahren.

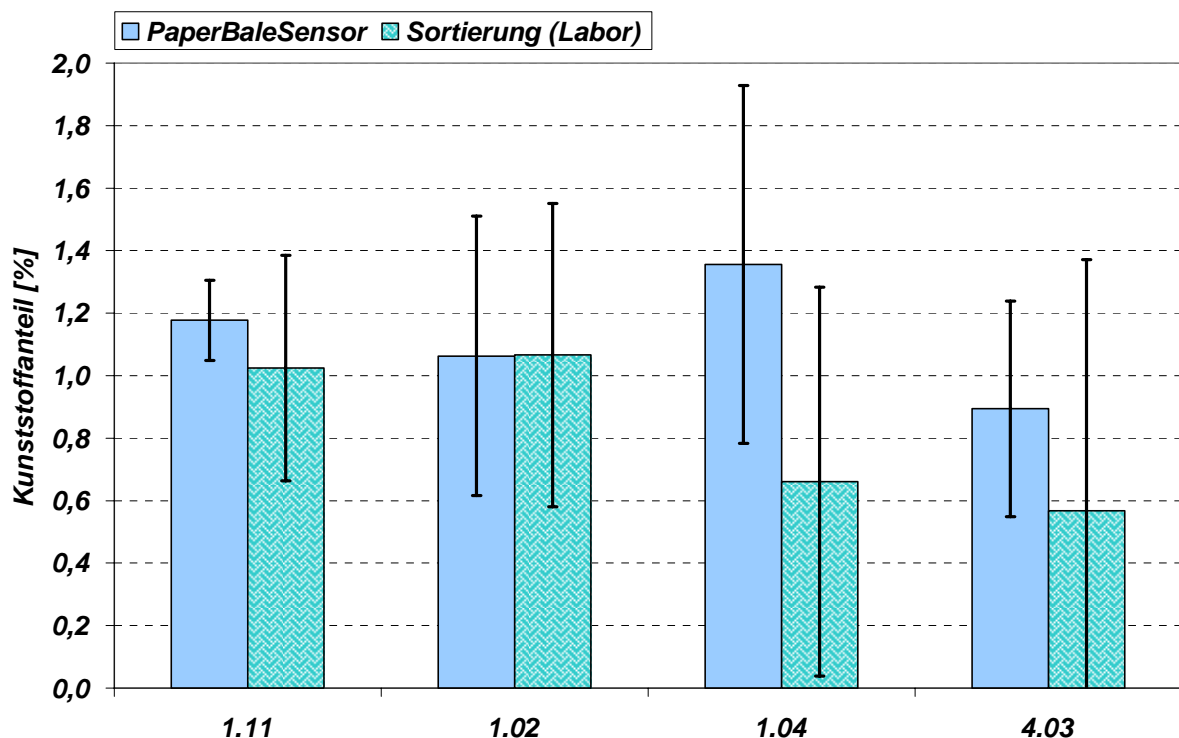


Abb. 62: *Kunststoffanteil der untersuchten Altpapiersorten mittels PaperBaleSensor und manueller Sortierung im Labor*

4.3 Aschegehalt

In **Abb. 63** wurde am Beispiel der Altpapiersorte 1.02 der Vergleich zwischen den Messwerten des PaperBaleSensors und der Labormessung für den Parameter Aschegehalt dargestellt. Da die Altpapiersorte 1.02 sowohl grafische Papiere als auch Verpackungspapiere und Karton enthält sollten hier die größten Abweichungen zu erwarten sein. Dadurch sollten die größten Schwankungsbreiten beider Verfahren im Vergleich zueinander erfasst werden. Des Weiteren wurde eine repräsentative Anzahl an Lieferungen bzw. Ballen mittels beider Messverfahren untersucht. Die Schwankungsbreite der PBS-Messung resultiert aus der Standardabweichung von zwei sich in Pressrichtung gegenüberliegenden Bohrlöchern eines Ballens, die jeweils 10 mal mit der NIR-Messlanze in alle Richtungen der Innenseite des

Bohrlochs vermessen wurden (dünner Fehlerbalken in Y-Richtung). Während für die Labormessung jeweils eine Doppelbestimmung (an einem aus der Stoffsuspension gebildeten Nutschenblattes) durchgeführt wurde (dicker Fehlerbalken in X-Richtung).

Aus den Messungen mittels PBS resultieren für die untersuchten Ballen der Altpapiersorte 1.02 wesentlich größere Abweichungen aus der Mehrfachmessung eines Ballens bzw. zweier Bohrlöcher im Vergleich zu den Labormessungen. Dies ist dadurch begründet, dass mit der NIR-Messlanze alle Aschegehalte der enthaltenen Papiersorten eines Ballens bzw. die im Bohrloch erfassbar sind einen Messwert liefern der als Mittelwert ausgegeben wird.

Die erheblich geringeren Abweichungen der Labormessung sind darauf zurückzuführen, dass es sich bei der Messung des Aschegehaltes eines Nutschenblattes schon um die homogenisierte Probe der Kernbohrung (mittels PMV-Kernbohrer) handelt.

Ein 1:1 Vergleich der beiden Verfahren ist somit nicht möglich. Allerdings sind die aus den Messungen der beiden Verfahren resultierenden Ergebnisse unter Einbezug der Standardabweichung durchaus vergleichbar.

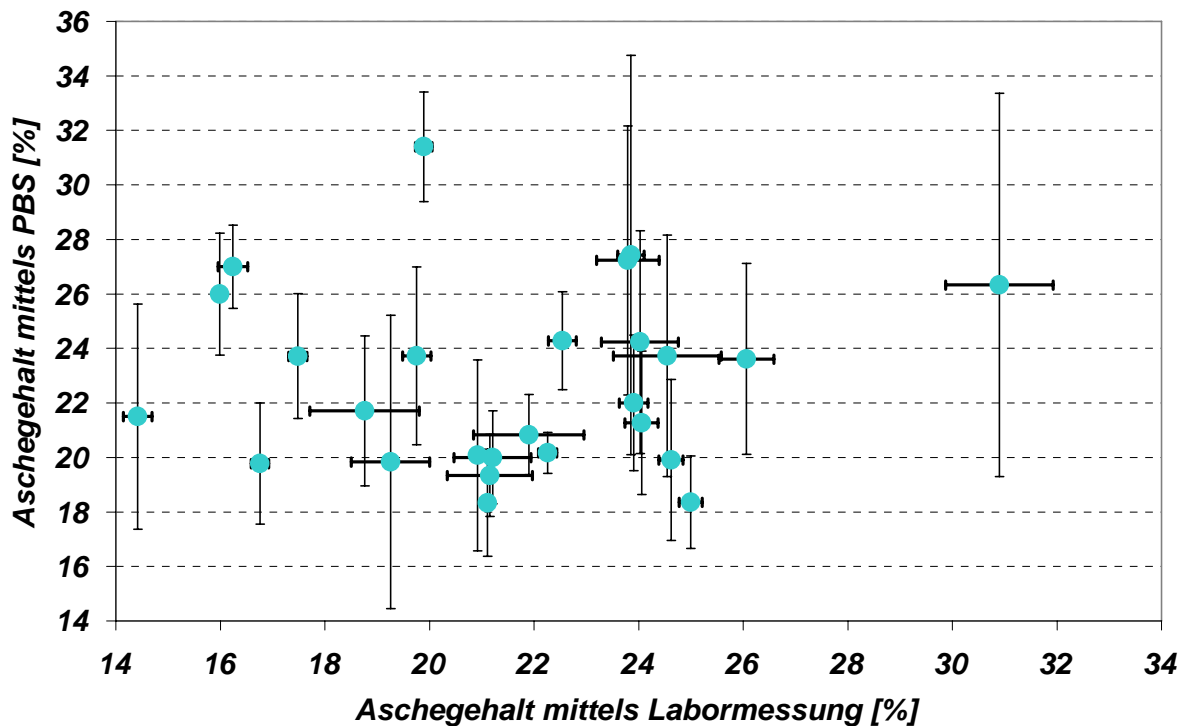


Abb. 63: Aschegehalt der Altpapiersorte 1.02 mittels Labormessung und PaperBaleSensor (PBS)

Bei der etwas homogenen Altpapiersorte 1.04 wurden im Vergleich zur Altpapiersorte 1.02 ähnliche Resultate mit beiden Messverfahren erzielt. Diese sind in **Abb. 64** dargestellt. Der wesentliche unterschied zwischen den beiden Altpapiersorten besteht darin, dass der Aschegehalt der Altpapiersorte 1.04 etwas geringer ist.

Anlog zu den Messungen mit beiden Verfahren bei 1.02 sind bei 1.04 die aus den Messungen mittels PBS resultieren Abweichungen wesentlich größer als bei der Labormessung.

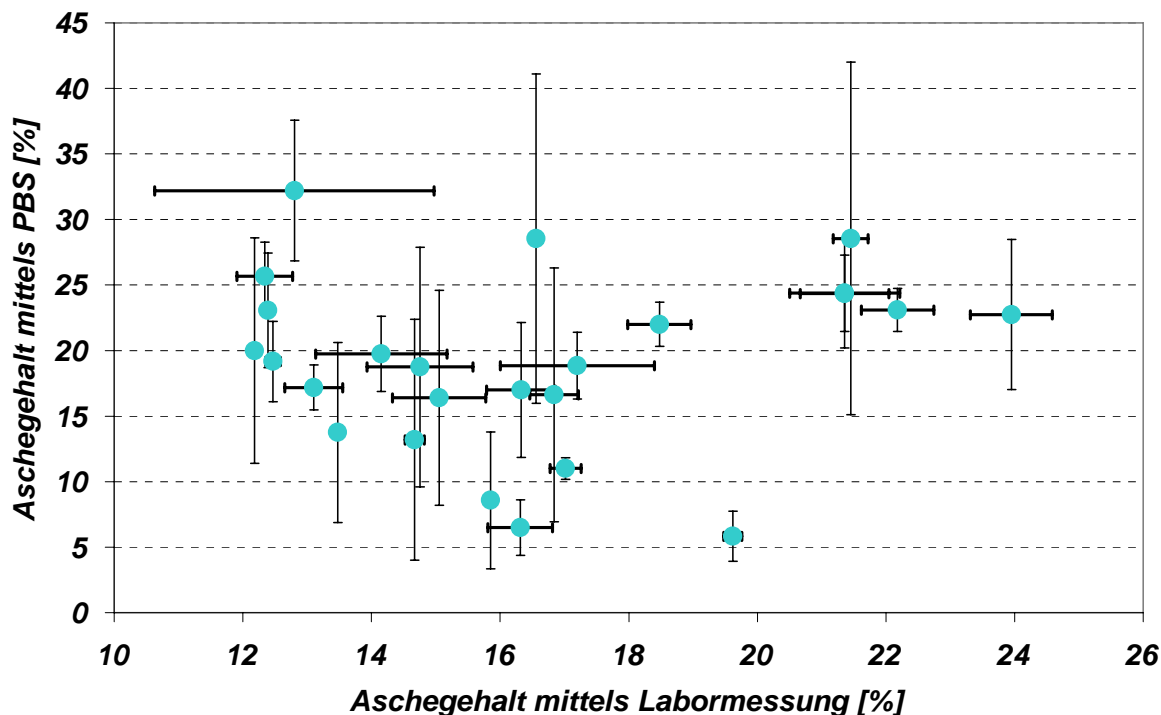


Abb. 64: Aschegehalt der Altpapiersorte 1.04 mittels Labormessung und PaperBaleSensor (PBS)

Die Einzelergebnisse der Altpapiersorten 1.11 und 4.03 wurden nicht grafisch abgebildet, da diese beiden Altpapiersorten wesentlich homogener sind als z. B. 1.02 oder 1.04. In **Abb. 65** sind die Mittelwerte der beiden Verfahren für alle untersuchten Altpapiersorten im Vergleich zueinander dargestellt. Für die jeweilige Altpapiersorte existieren keine signifikanten Abweichungen für die durchschnittlichen Aschegehalte mittels beider Verfahren. Unter Einbezug der Standardweichung sind die resultierenden Ergebnisse für den Parameter Aschegehalt der beiden Verfahren miteinander vergleichbar.

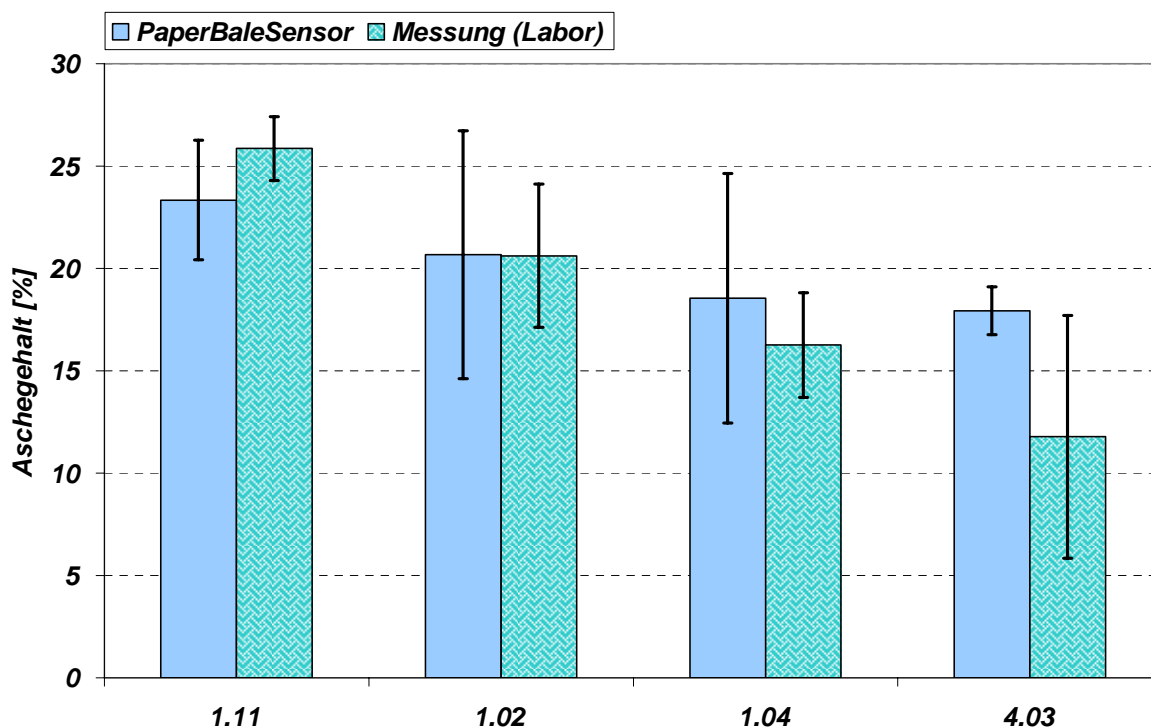


Abb. 65: Aschegehalt der untersuchten Altpapiersorten mittels PaperBaleSensor und Labormessung

5 Ergebnisse der in Altpapier-Sortierbetrieben untersuchten Altpapiersorten

Für die Untersuchungen der Altpapierqualität in Altpapier-Sortierbetrieben wurden verschiedene Eingangsmaterialien aus städtischen und ländlichen Gebieten sowie die daraus generierten Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 1.11 auf ihre Zusammensetzung hin untersucht. In einer Altpapiersortieranlage ist als erster Schritt meist ein Dosierbunker oder ein Aufgabeband der Sortierung vorgeschaltet. Diese Aggregate dienen zur gleichmäßigen Aufgabe des Eingangsbzw. zu sortierenden Materials und bewirken gleichzeitig eine Vereinzelnung der Materialien. Üblicherweise folgt nachgeschaltet ein Grobsieb oder Ballistikseparator zur Pappenabscheidung. Aus den ausgeschiedenen Pappen wird die Altpapiersorte 1.04 (Kaufhausaltpapier) generiert. In vielen Anlagen folgt ein Feinsieb um den Großteil an Verunreinigungen (z. B. papierfremde Stoffe) aus dem Stoffstrom zu entfernen. Durch das Feinsieb wird allerdings auch ein nicht irrelevanter Anteil an überwiegend grafischen Papieren sowie anderen Papieren und Pappen ausgelesen. Die so genannte Feinsiebfraction wird in einigen Anlagen der Altpapiersorte 1.02 (sortiertes, gemischtes Altpapier) zugeführt. Daraufhin kann die Zusammensetzung dieser Sorte unabhängig vom Automatisierungsgrad zusätzlich beeinflusst werden.

Der maschinellen Grob- und Feinsortierung folgt je nach Automatisierungsgrad der Altpapier-Sortieranlage entweder eine manuelle Sortierung oder eine sensorgestützte Sortierung zur Generierung der Altpapiersorte 1.11 (Deinkingware). Durch diese Sortierschritte sollen alle nicht-deinkbaren Papiere und Pappen (Verpackungspapiere und Kartonagen, ungeeignete Papiere, z. B. Hygienepapiere, durchgefärbte Papiere, Verbundmaterialien, etc.) sowie papierfremde Stoffe (z. B. Kunststoffe, Metalle, Holz, etc.) aus dem Stoffstrom entfernt werden. Im Endprodukt (1.11) sollten laut DIN EN 643 maximal 1,5 % an nicht-deinkbaren Papieren enthalten sein. Grundsätzlich sollte Altpapier frei von unerwünschten Stoffen bzw. papierfremden Stoffen sein.

Das Eingangsmaterial ist nicht mit den daraus generierten Altpapiersorten zu vergleichen. Da die Proben an den einzelnen Probeentnahmestellen zum einen nicht zeitgleich bzw. dem Volumenstrom zeitlich versetzt entnommen wurden und zum anderen das Sortierergebnis durch die Entnahme von Probenmaterial nicht mehr zu 100 % der Eingangsqualität entspricht. In **Tabelle 8** sind die wesentlichen Merkmale der untersuchten Altpapier-Sortierbetriebe aufgeführt. Die Altpapier-Sortieranlagen A und B basieren überwiegend auf manueller Sortierung und unterscheiden sich hauptsächlich durch den geringeren Durchsatz von den vollautomatisierten Altpapier-Sortieranlagen C, D, E und F.

Tabelle 8: Technische Details der Altpapier-Sortieranlagen

Technische Daten	Altpapier-Sortieranlage					
	A	B	C	D	E	F
Manuelle Sortierung (Nachsortierung ausgenommen)	X	X				
Vollautomatisierung mit Nachsortierung			X	X	X	X
Durchsatz [t/h]	3-4	8,5	12	22	30	17
Eingangsmaterial						
Deinkingware	70	77	57	80	74	85
Verpackungspapier & Mischpapier	22	18	40	16	22	14
Papierfremde Stoffe	8	5	3	4	4	1
Beschäftigte pro Schicht	3	6,5	8	7	6	6
Grobsortierung [mm]		X 300	X 300	X 300	X 200-500	X 300
Feinsortierung [mm]	X	X 100	X 120	X 100	X 100 & 40	X 100
Optische Sortiergeräte	-	-	3	5	5	4
Beschäftigte in der Nachsortierung	2	5	6	5	4	4

5.1 Zusammensetzung aller Altpapiersorten in Altpapier-Sortierbetrieben

In zwei (B und D) von sechs Altpapier-Sortieranlagen wurden jeweils Eingangsmaterialien (EG) aus städtischen und ländlichen Gebieten untersucht. Zur Unterscheidung sind diese in **Abb. 66** mit Land und Stadt gekennzeichnet. Zur Herkunft der Eingangsmaterialien der weiteren Altpapier-Sortieranlagen konnte keine genaue Zuordnung angegeben werden (n. b. = nicht bekannt).

Die unterschiedlichen Eingangsmaterialien wurden manuell in sechs Kategorien unterteilt. Die Anteile an Zeitungen, Illustrierten sowie sonstigen grafischen Papieren (überwiegend Büropapiere) stellen dabei die Summe an grafischen Papieren dar, diese beträgt im Mittel 77,8 % mit einer Standardabweichung von $\pm 9,2$ %. Der mittlere Anteil an Zeitungen beträgt $22,5 \pm 6,2$ %, für Illustrierte liegt er bei $42,8 \pm 8,2$ % und für sonstige grafische Papiere $12,5 \pm 11,1$ %. Die Kategorie Verpackungspapieren/Kartonagen enthält Well- und Vollpappe, Kartonagen sowie sonstige Verpackungspapiere und -pappen. Der mittlere Anteil an Verpackungspapieren/Kartonagen beträgt $18,6 \pm 6,6$ %. Die Kategorie sonstige Papiere und Pappen beinhaltet Hygienepapiere, durchgefärbte Papiere, Tapeten und Verbundmaterialien. Die in dieser Kategorie enthaltenen Papiere und Pappen sind für das Deinking ungeeignet. Im Mittel beträgt der Anteil an sonstigen Papieren und Pappen $2,6 \pm 2,5$ %. Der vierten Kategorie sind die papierfremden Stoffe (Kunststoff, Metall, Holz und sonstige) zugeordnet. Der mittlere Anteil an papierfremden Stoffen der Eingangsmaterialien liegt bei $1,0 \pm 0,7$ %.

Durch die Einbeziehung der Materialherkunft konnte gezeigt werden, dass in den Eingangsmaterialien aus ländlichen Gebieten im Vergleich zu denen aus städtischen Gebieten ein etwas geringerer Anteil an Zeitungen enthalten ist. Dementsprechend ist der Anteil an Illustrierten im Eingangsmaterial aus ländlichen Gebieten etwas höher als aus städtischen Gebieten. In städtischen Gebieten ist der Anteil an im Eingangsmaterial enthaltenen papierfremden Stoffen wesentlich höher als in ländlichen Gebieten.

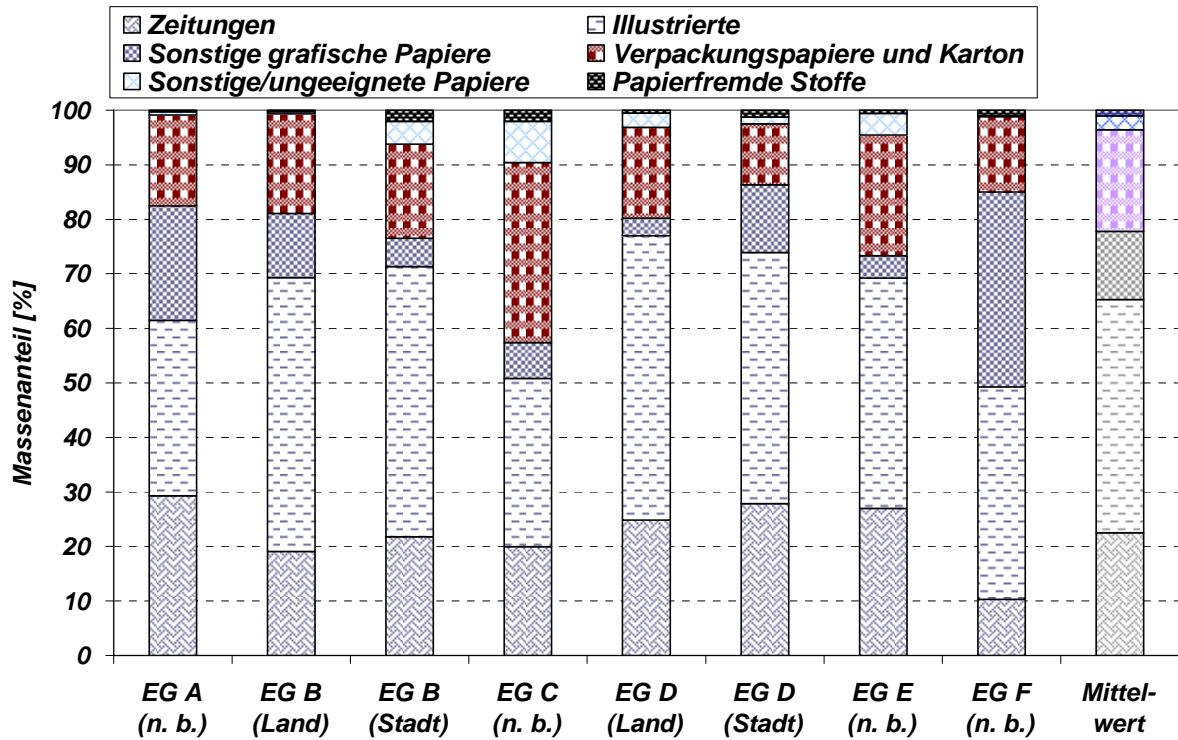


Abb. 66: *Zusammensetzung der Eingangsmaterialien (EG) unterschiedlicher Altpapier-Sortieranlagen (n. b.: nicht bekannt)*

Die Altpapiersorte 1.04 (Kaufhausaltpapier) wird nach der Pappenabscheidung z. B. mittels Grobsieb oder Ballistikseparator generiert. Die manuelle Sortierung erfolgte nach denselben Kategorien des Eingangsmaterials (**Abb. 67**). Der Anteil an Zeitungen im Kaufhausaltpapier der sechs untersuchten Altpapier-Sortieranlagen variiert von minimal 2,2 % bis zu maximal 18,2 % und liegt im Mittel bei 9,0 % mit einer Standardabweichung von $\pm 6,8$ %. Der Anteil an Illustrierten (minimal 2,5 %, maximal 14,4 %, Mittelwert 6,7 % $\pm 4,6$ %) und sonstigen grafischen Papieren (minimal 0,5 %, maximal 11,2 %, Mittelwert 3,6 % $\pm 4,0$ %) unterliegt ähnlich starken Schwankungen. Die Summe an grafischen Papieren beträgt im Mittel 19,3 % $\pm 12,0$ %.

Der mittlere Anteil an Verpackungspapieren/Kartonagen liegt bei 78,5 % $\pm 12,7$ %. Die Anteile an sonstigen Papieren und Pappen (Mittelwert 1,5 % $\pm 1,5$ %) sowie an papierfremden Stoffen (Mittelwert 0,7 % $\pm 2,1$ %) sind minimal. Nur in zwei untersuchten Proben bzw. Altpapier-Sortieranlagen (D und F) ist der Anteil an sonstigen Papieren und Pappen größer als 2 %. Der Anteil an papierfremden Stoffen liegt in allen Proben, außer in Probe F (3,7 %), unterhalb von einem Prozent.

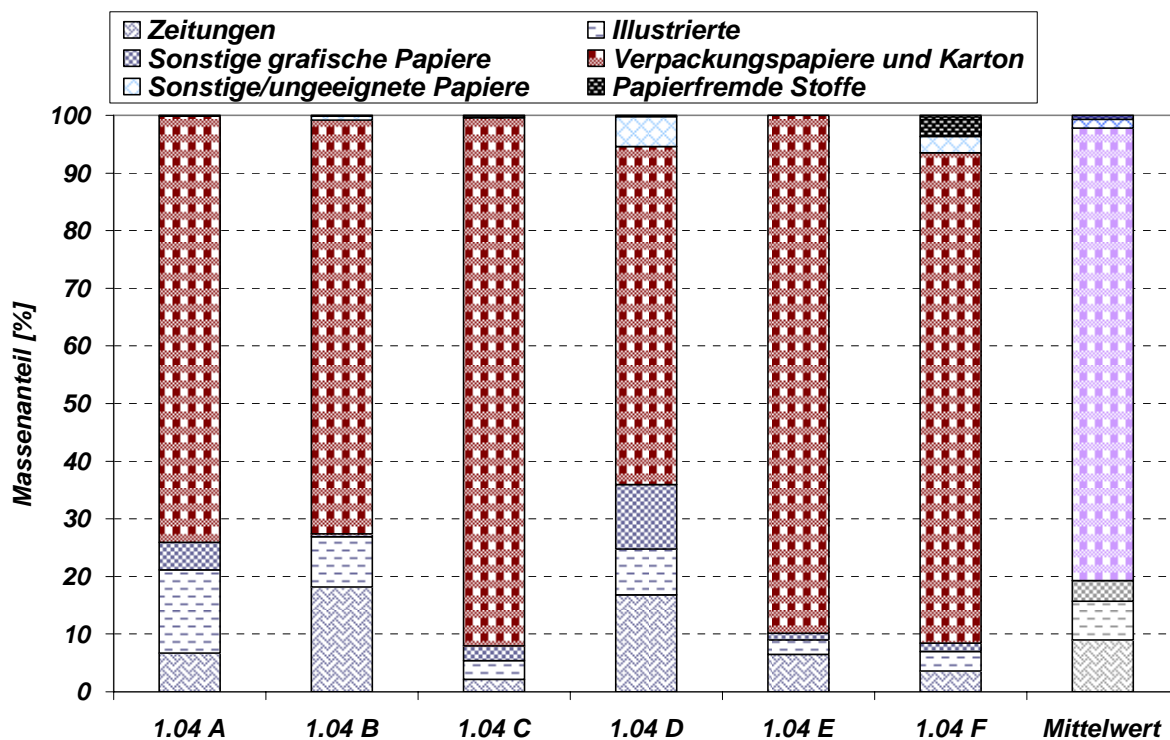


Abb. 67: *Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.04 (Kaufhausaltpapier) unterschiedlicher Altpapier-Sortieranlagen*

In **Abb. 68** wurde die Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.02 der untersuchten Altpapier-Sortieranlagen dargestellt. Die Sortierung wurde analog zum Eingangsmaterial und der Altpapiersorte 1.04 durchgeführt. Die Proben der Anlagen A, B und C, die überwiegend auf manuelle Sortierung gestützt sind, weisen jeweils einen Anteil an grafischen Papieren von ca. 60 % auf. Die Proben D, E und F stammen größtenteils aus einer sensorgestützten Sortierung und weisen grafische Papieranteile von 40 % bis maximal 50 % auf. Über alle untersuchten Anlagen beträgt der Anteil an Zeitungen im Durchschnitt 12,3 % ± 4,5 %, an Illustrierten 29,2 % ± 5,8 % und an sonstigen grafischen Papieren 10 % ± 5,4 %. Die Summe an grafischen Papieren aller Proben beträgt durchschnittlich 51,6 % ± 9,3 %.

Die Anteile an Verpackungspapieren/Kartonagen der Proben aus den Anlagen A, B und C fallen aufgrund des höheren Anteils an grafischen Papieren niedriger aus als in den Proben aus den Anlagen D, E und F. Der mittlere Anteil an Verpackungspapieren/Kartonagen beträgt 42,9 % ± 10,4 %. Im Mittel liegt der Anteil an sonstigen Papieren und Pappen bei 3,5 % ± 2,8 und an papierfremden Stoffen bei 1,1 % ± 1,1. Bei diesen zwei Kategorien gibt es keine signifikanten Unterschiede durch den jeweiligen Automatisierungsgrad der Anlage.

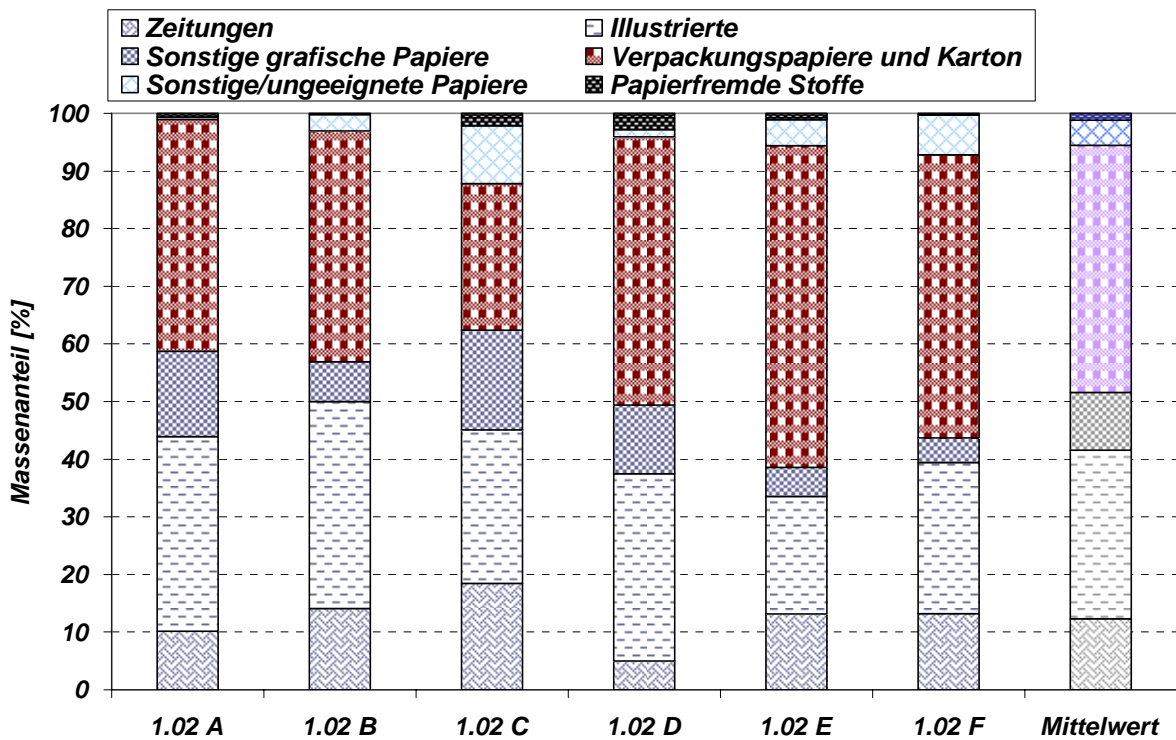


Abb. 68: *Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.02 (sortiertes, gemischtes Altpapier) unterschiedlicher Altpapier-Sortieranlagen*

Die Sortierung der Deinkingware (1.11) erfolgte ebenfalls nach sechs Kategorien und wurde in **Abb. 69** dargestellt. Die Proben C1, D1, E1 und G wurden im Anschluss an die manuelle Sortierung auf ihre Deinkbarkeit und weitere papierspezifische Parameter hin untersucht. Mit Ausnahme von Probe G weisen die Proben der untersuchten Altpapier-Sortieranlagen alle einen Anteil an Zeitungen von mindestens 30 % auf. Der mittlere Anteil an Zeitungen liegt bei 32,9 % mit einer Standardabweichung von $\pm 5,3$ %. Der Anteil an Illustrierten beträgt minimal 36,7 % und maximal 61,9 % (Mittelwert $47,9 \pm 6,9$ %). An sonstigen grafischen Papieren sind minimal 4,2 % und maximal 26,0 % (Mittelwert $12,1 \pm 5,6$ %) in der Deinkingware enthalten. Die Summe an grafischen Papieren beträgt im Mittel $92,9 \pm 2,0$ %.

Die Kategorie Verpackungspapiere/Kartonagen gehört im Bereich der Altpapiersorte 1.11 zu den nicht-deinkbaren Papieren. Ebenso sind die in der Deinkingware enthaltenen sonstigen bzw. ungeeigneten Papiere und Pappen (Hygienepapier, Tapeten, durchgefärbte Papiere und Verbundmaterialien) den nicht-deinkbaren Papieren zuzuordnen. Die Summe an nicht-deinkbaren Papieren besteht somit aus den Kategorien Verpackungspapiere/Kartonagen und sonstige/ungeeignete Papiere und Pappen. Der Anteil an nicht-deinkbaren Papieren sollte laut DIN EN 643 auf 1,5 % reduziert werden. Die mittleren Anteile an Verpackungspapieren/-Kartonagen betragen $6,0 \pm 1,7$ %, an sonstigen Papieren und Pappen betragen $0,6 \pm 0,5$ % und an papierfremden Stoffen $0,4 \pm 0,3$ %.

Bei der Altpapiersorte 1.11 konnten keine signifikanten Unterschiede durch den jeweiligen Automatisierungsgrad der Anlage festgestellt werden. Vielmehr liegen die gezeigten Schwankungen eher in der Variabilität des Eingangsmaterials.

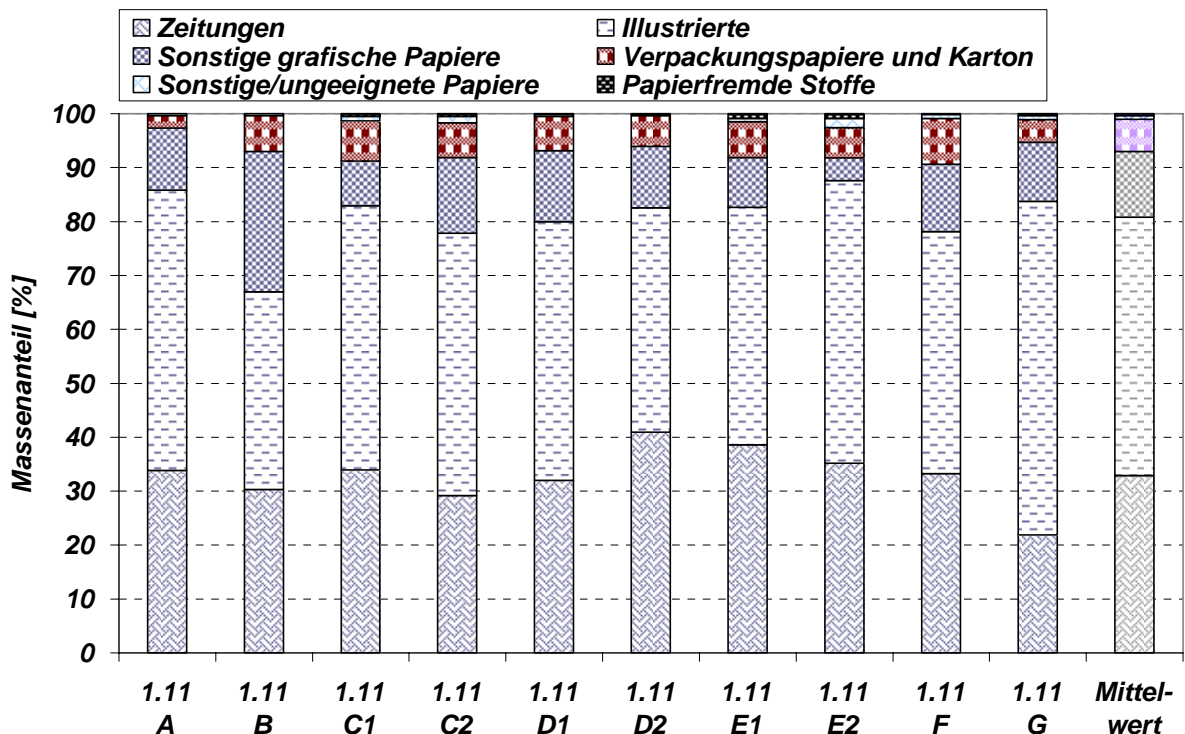


Abb. 69: *Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.11 (Deinkingware) unterschiedlicher Altpapier-Sortieranlagen*

6 Ergebnisvergleich zwischen der in Papierfabriken und in Altpapier-Sortierbetrieben untersuchten Altpapiersorten

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden die Altpapiersorten 1.11, 1.02 und 1.04 anhand von Ballenware in den Papierfabriken sowie in Form von loser Ware in den Altpapier-Sortierbetrieben beprobt und auf ihre Zusammensetzung hin untersucht. Üblicherweise wird die Altpapiersorte 1.11 in loser Lieferform gehandelt. Daraufhin wurden zusätzlich zu den beprobten 1.11er Ballen Proben in Form von loser Ware untersucht. Die durchschnittliche Zusammensetzung der jeweilige Altpapiersorte und Herkunft sind in **Tabelle 9** aufgeführt.

Die Zusammensetzung der Deinkingware (1.11) aus Papierfabriken und aus Altpapier-Sortierbetrieben in loser Lieferform unterscheidet sich nicht signifikant voneinander. Im Vergleich zur Ballenware sind geringe Unterschiede in der Zusammensetzung ersichtlich, z. B. sind die Anteile an Zeitungen und Illustrierten etwas höher und der Anteil an sonstigen grafischen Papieren etwas geringer als in der losen Deinkingware. Die Differenz zwischen der Summe an grafischen Papieren in der Deinkingware aus Altpapier-Sortierbetrieben, loser und Ballenware aus Papierfabriken beträgt maximal ein Prozent. Der Anteil an Verpackungspapieren und Karton in der 1.11er Ballenware ist etwas niedriger als in der losen Ware. Allerdings liegt der Anteil an papierfremden Stoffen in der Ballenware wesentlich höher als in loser Deinkingware.

Die Summe an grafischen Papieren in der Altpapiersorte 1.02 aus den Altpapier-Sortierbetrieben ist etwas niedriger als in den Papierfabriken. Dafür ist der Anteil an Verpackungspapier und Karton in der Altpapiersorte 1.02 aus den Altpapier-Sortierbetrieben etwas höher. Der Anteil an papierfremden Stoffen ist ebenfalls in den Proben aus den Papierfabriken höher als aus den Altpapier-Sortierbetrieben.

Bei der Betrachtung der enthaltenen Anteile an papierfremden Stoffen fällt auf, dass die Anteile in den zu Ballen verpressten Proben aus Papierfabriken in allen untersuchten Altpapiersorten mehr als doppelt so hoch sind als in den Proben der losen Ware aus Altpapier-Sortierbetrieben.

Tabelle 9: *Durchschnittliche Zusammensetzung der untersuchten Altpapiersorten 1.11, 1.02 und 1.04 aus Papierfabriken und aus Altpapier-Sortierbetrieben im Jahr 2010*

	<i>Zeitungen</i>	<i>Illustrierte</i>	<i>Sonst. graf. Papiere</i>	<i>Verpackungspapiere und Karton</i>	<i>Ungeeignete bzw. sonstige Papiere und Pappen</i>	<i>Papierfremde Stoffe</i>
<i>1.11 lose Ware aus AP-Sortierbetrieben</i>	32,9	47,9	12,1	6,0	0,7	0,4
<i>1.11 lose Ware aus Papierfabriken</i>	33,2	49,1	11,0	5,1	1,2	0,5
<i>1.11 Ballenware aus Papierfabriken</i>	34,9	50,7	8,3	3,6	0,8	1,8
<i>1.02 lose Ware aus Sortierbetrieben</i>	12,3	29,2	10,0	42,9	4,3	1,2
<i>1.02 Ballenware aus Papierfabriken</i>	12,2	32,8	9,6	39,2	2,3	3,9
<i>1.04 lose Ware aus Sortierbetrieben</i>	9,0	6,7	3,6	78,5	1,5	0,7
<i>1.04 Ballenware aus Papierfabriken</i>	3,7	9,5	5,1	79,1	1,0	1,6

In **Abb. 70** sind die Mittelwerte der jeweils untersuchten Lieferungen der Altpapiersorte 1.11 (Ballenware und lose Ware aus Papierfabriken, lose Ware aus Altpapier-Sortierbetrieben) im Vergleich zum Mittelwert aller untersuchten Lieferungen für die Kategorien grafische Papiere, Verpackungspapiere und Karton, ungeeignete Papiere und Pappen sowie papierfremde Stoffe zusammengefasst dargestellt. Der grafische Papieranteil beträgt im Durchschnitt 93 %. Der durchschnittliche Anteil an Verpackungspapieren und Karton in der Deinkingware beträgt 5 %. Ungeeignete Papiere sind durchschnittlich zu einem Prozent im 1.11er Altpapier enthalten. Der enthaltene Anteil an papierfremden Stoffen beträgt im Mittel 0,6 %.

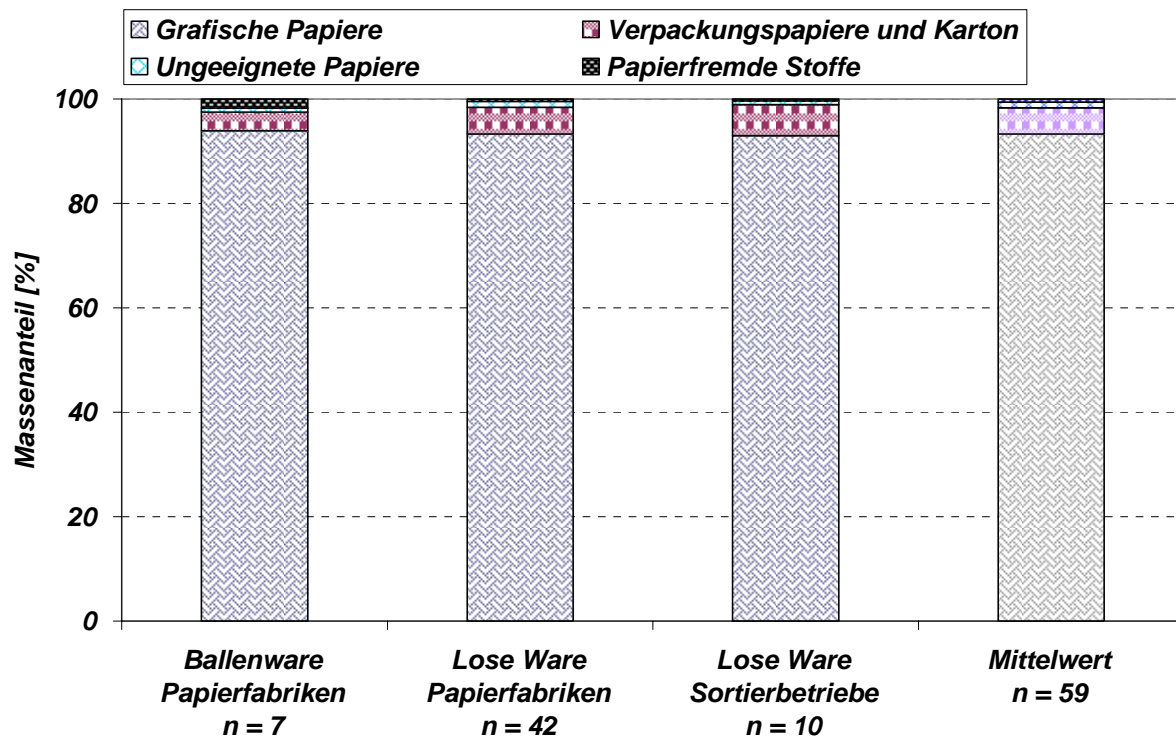


Abb. 70: *Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.11*

Bei der detaillierten Betrachtung von einzelnen Parametern werden jedoch einige Unterschiede ersichtlich (**Tabelle 10**). Die untersuchten Proben in Altpapier-Sortierbetrieben weisen einen Feuchtigkeitsgehalt von 7 % auf. Der Feuchtigkeitsgehalt der in Papierfabriken untersuchten losen Ware beträgt allerdings 10 %. Dies kann z. B. durch die ungeschützte Lagerung der generierten Altpapiersorte im freien (ohne Überdachung bzw. in offenen Rollcontainern o. ä.) oder durch den Transport in Kippladern (ohne Plane) beeinflusst sein.

Die Deinkingware in loser Lieferform aus Altpapier-Sortieranlagen weißt gegenüber der Deinkingware (Ballen- und lose Ware) aus den Papierfabriken einen etwas höheren Aschegehalt und dementsprechend auch einen größeren Entwässerungswiderstand (Schopper-Riegler-Wert) und einen höheren Anteil an Fein- und Füllstoffen auf.

Der Makro-Stickygehalt der losen Ware aus Papierfabriken ist wesentlich höher als in der Ballenware und in den Proben aus Altpapier-Sortierbetrieben. Die Ursache dafür konnte nicht abschließend geklärt werden.

Der Austrag von Schmutzpunkten durch das Flotationsdeinking ist bei der losen Ware aus Papierfabriken und Altpapier-Sortierbetrieben deutlich höher als bei der Ballenware. Dies

könnte durch den Einfluss der Lagerdauer bedingt sein. Aufgrund des höheren Volumens hat Altpapier in loser Lieferform eine geringere Verweilzeit (von Generierung bis Ankunft Papierfabrik) als zu Ballen verpresste Ware.

Tabelle 10: Ergebnisvergleich unterschiedlicher Parameter zwischen den Proben der Altpapiersorte 1.11 aus Papierfabriken (Ballen- und lose Ware) und Altpapier-Sortieranlagen (lose Ware)

<i>Parameter</i>	<i>Einheit</i>	<i>Ballenware aus Papierfabriken (n = 7)</i>	<i>Lose Ware aus Papierfabriken (n = 42)</i>	<i>Lose Ware aus Sortieranlagen (n = 4)</i>
Feuchtigkeitsgehalt	%	8,6	10,0	7,0
Aschegehalt	%	22,9	24,5	26,0
Entwässerungsverhalten	SR	55,6	59,0	60,6
Wasserrückhaltevermögen	%	104,7	105,2	105,5
Faserfraktionierung				
Schlitzplatte 150 µm	%	0,3	0,3	0,3
R30	%	21,4	22,6	21,9
R50	%	13,8	13,1	13,1
R100	%	15,7	14,0	16,1
R200	%	8,2	8,8	8,1
D200	%	40,5	40,9	40,6
Makro-Stickygehalt	mm ² /kg	9.463	13.940	5.713
Schmutzpunktfläche, UP	mm ² /m ²	2.067	2.129	2.094
Schmutzpunktfläche, DP	mm ² /m ²	1.287	940,2	860,3
Weißgrad, UP	%	44,0	45,7	44,9
Weißgrad, DP	%	55,0	57,2	55,5
Hellbezugswert (Y), UP	-	47,8	49,8	48,7
Hellbezugswert (Y), DP	-	61,2	64,0	61,7
L*, DP	-	82,4	84,0	82,8
a*, DP	-	-0,7	-0,9	-0,9
b*, DP	-	6,2	6,7	6,2
ERIC, UP	ppm	739,9	629,4	663,9
ERIC, DP	ppm	278,7	200,3	251,7
Ausbeute	%	62,5	56,0	59,8
Reißlänge	km	3,4	3,5	3,7
Weiterreißarbeit	mN*m/m	1.044	1.187	1.066
Berstfestigkeit	kPa	130,5	140,0	138,0

7 Veröffentlichungen und Vorträge

Die Forschungsergebnisse wurden bisher auf Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses diskutiert und bei verschiedenen Seminaren bzw. Working Group Meetings und Konferenzen den Vertretern der Papierindustrie und der Altpapier-Sortierbetriebe zur Kenntnis gebracht.

7.1 Veröffentlichungen

Die Ergebnisse dieses Projektes wurden in folgenden Veröffentlichungen dargestellt:

- 1 Weinert, S.; Putz, H-J.; Schabel, S.: *Composition and quality of the Recovered Paper Grade 1.11 in Europe*. 9. CTP Training Course on Deinking, 03.-05.06.2009, Frankreich, Grenoble
- 2 Weinert, S.; Putz, H-J.; Schabel, S.: *Investigation on Recovered Paper Quality in the INGEDE Member Countries*. 19th INGEDE Symposium, 11.02.2010, München
- 3 Weinert, S.; Putz, H-J.; Schabel, S.: *Investigation on Recovered Paper Quality 1.11 in Various Countries*. PTS-CTP Deinking Symposium, 27.-29.04.2010, München
- 4 Weinert, S.; Putz, H-J.; Schabel, S.: *Andere Länder, andere Papiere*. Recycling Magazin, 26.07.2010, Ausgabe 14, S.26-29
- 5 Weinert, S. Putz, H-J.; Schabel, S.: *Outlet Paper Quality*. Matthiesen Engineering, Séminaire annuel de formation de nos partenaires - Machines spéciales de tri dans les corps plats fibreux, 08.10.2010, Frankreich, Besançon

7.2 Vorträge auf Konferenzen

Auf folgenden Veranstaltungen wurden Vorträge gehalten:

- 17.10.2007 Putz, H-J.: *INGEDE Survey on Recovered Paper (RP) Composition and Quality*. INGEDE Working Group Recovered Paper, Eltmann
- 11.12.2007 Putz, H-J.: *INGEDE Survey on Recovered Paper (RP) Composition and Quality*. INGEDE PAK Meeting, München
- 10.04.2008 Putz, H-J.: *Qualitätseigenschaften der wichtigsten Altpapiersorten in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen*. AiF-Tag, an der Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, Darmstadt
- 23.04.2008 Putz, H-J.: *INGEDE Survey on Recovered Paper (RP) Composition and Quality*. INGEDE Working Group Recovered Paper, Hürth
- 16.05.2008 Bösner, J.-K.: *Quality properties of the most important recovered paper grades in dependence of sorting conditions*. COST E 48 Meeting, Ungarn, Budapest

- 28.08.2008 Putz, H.-J.: *Entwicklung der Altpapierqualität - Labormethoden und Analyseergebnisse*. 4. Salzburger Recycling-Technik Seminar, Österreich, Seewalchen
- 14.10.2008 Weinert, S.: *Investigation on Recovered Paper Quality in the INGEDE Member Countries - Laboratory techniques and analytical results*. INGEDE Working Group Recovered Paper, Frankreich, Marseille
- 24.03.2009 Weinert, S.: *Qualitätseigenschaften der wichtigsten Altpapiersorten in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen*. AiF-Tag, an der Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, Darmstadt
- 29.04.2009 Weinert, S.: *Investigation on Recovered Paper Quality in the INGEDE Member Countries - Analytical results*. INGEDE Working Group Recovered Paper, Müschde
- 03.06.2009 Weinert, S.: *Composition and quality of the Recovered Paper Grade 1.11 in Europe*. 9. CTP Training Course on Deinking, Frankreich, Grenoble
- 29.06.2009 Weinert, S.: *Modellierung von Systemen für die Sortierung von Altpapier - Erste Forschungsergebnisse*. 1. Workshop - Modellierung von Systemen für die Sortierung von Altpapier, Darmstadt
- 22.09.2009 Putz, H.-J.: *Qualitätseigenschaften der wichtigsten Altpapiersorten in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen*. ZELLCHEMING Fachausschuss RECO, Schweiz, Hedingen/Zürich
- 14.10.2009 Weinert, S.: *Investigation on Recovered Paper Quality in the INGEDE Member Countries*. INGEDE Working Group Recovered Paper, Eilenburg
- 21.01.2010 Weinert, S.: *Modellierung von Systemen für die Sortierung von Altpapier - Methodik und Vergleiche der Anlagendarstellung anhand realer Untersuchungen*. 2. Workshop - Modellierung von Systemen für die Sortierung von Altpapier, Darmstadt
- 11.02.2010 Weinert, S.: *Investigation on Recovered Paper Quality in the INGEDE Member Countries*. 19th INGEDE Symposium, München
- 02.03.2010 Putz, H.-J.: *Qualitätseigenschaften der wichtigsten Altpapiersorten in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen*. ZELLCHEMING Fachausschuss RECO, Bad Harzburg
- 23.03.2010 Weinert, S.: *Qualitätseigenschaften der wichtigsten Altpapiersorten in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen*. AiF-Tag, an der Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, Darmstadt
- 14.04.2010 Weinert, S.: *Investigation on Recovered Paper Quality in the INGEDE Member Countries - Analytical results*. INGEDE Working Group Recovered Paper, Italien, Mantova

- 27.04.2010 Weinert, S.: *Investigation on Recovered Paper Quality 1.11 in Various Countries*. PTS-CTP Deinking Symposium, München
- 14.09.2010 Weinert, S.: *Qualitätseigenschaften der wichtigsten Altpapiersorten in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen*. IFAT-ENTSORGA, BDE-Altpapierkongress, München
- 07.10.2010 Weinert, S.: *Investigation on Recovered Paper Quality in the INGEDE Member Countries*. INGEDE Working Group Recovered Paper, Hamburg
- 08.10.2010 Weinert, S.: *Outlet Paper Quality*. Matthiesen Engineering, Séminaire annuel de formation de nos partenaires - Machines spéciales de tri dans les corps plats fibreux, Frankreich, Besançon
- 29.10.2010 Schabel, S.: *Qualitätseigenschaften der wichtigsten Altpapiersorten in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen*. APV-Jahrestreffen, Darmstadt

8 Danksagung

Das IGF-Vorhaben 15408 N der Forschungsvereinigung „Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e.V.“ wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

9 Literaturverzeichnis

- [1] N.N.: *Papier 2008 – ein Leistungsbericht*. Verband Deutscher Papierfabriken e.V., Bonn, März 2008
- [2] N.N.: *Papier 2009 – ein Leistungsbericht*. Verband Deutscher Papierfabriken e.V., Bonn, März 2009
- [3] N.N.: *Papier 2010 – ein Leistungsbericht*. Verband Deutscher Papierfabriken e.V., Bonn, März 2010
- [4] N.N.: *Fortschreibung der Selbstverpflichtung vom 26. September 1994 für eine Rücknahme und Verwertung gebrauchter graphischer Papiere*. AGRAPA, Bonn, 2001
- [5] N.N.: *Europäische Erklärung zur Wiederverwertung von Papier*. CEPI, Brüssel, 2000
- [6] N.N.: *The European Declaration on Paper Recovery – Review 2000-2005*. CEPI, ERPA, FEFCO, Brüssel, 2006
- [7] N.N.: *European Declaration on Paper Recycling 2006-2010*. European Paper Council, Brüssel, 2006
- [8] Wagner, J.; Schabel, S.: *Einflüsse der automatisierten Sortierung auf die Qualität des Altpapiers*. Recycling Magazin, 61(2006), Nr. 6, S. 18-22
- [9] N.N.: *Praxishandbuch zum Qualitätsmanagement Altpapier*. GesPaRec, Bonn, 2004
- [10] N.N.: *Responsible Management of Recovered Paper: Guidelines on responsible sourcing and quality control*. CEPI, Brüssel, 2006
- [11] N.N.: *Best Practices for the Global Inspection of Recovered Paper*. CEPI, Brüssel, 2006
- [12] Phan-Tri, D., Göttching, L.: *Physikalische, chemische und mikrobiologische Charakterisierung verschiedener industrieller Altpapiersorten*. EG-Abschlussbericht 001-79-1 RCP-D, IfP, Darmstadt, 1982
- [13] Phan-Tri, D., Göttching, L.: *Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bewertung physikalischer Eigenschaften verschiedener Altpapiersorten*. AiF-Abschlussbericht Nr. 5341, IfP, Darmstadt, 1984
- [14] Eckstein, F.; Phan-Tri, D.: *Probenbohrwerkzeug für Altpapierballen*. Werkstatt und Betrieb, 117 (1984), Nr. 4, S. 245-246
- [15] Phan-Tri, D.; Göttching, L.: *Eingangskontrolle von Altpapier, Teil I: Probenahme aus Altpapier mit dem PMV-Kernbohrer*. WfP 112 (1984), Nr. 6, 167-174
- [16] Ferreira, R.: *Bestimmung der Qualitätseigenschaften von Deinkingware in Abhängigkeit vom Altpapier-Erfassungssystem*. Diplomarbeit Nr. 182 am Institut für Papierfabrikation, Darmstadt, 1995
- [17] Herkel, M.: *Entwicklung einer repräsentativen Probenahme für Altpapier aus loser Ware*. Diplomarbeit Nr. 174 am Institut für Papierfabrikation, Darmstadt, 1995
- [18] Bauer, M.: *Qualitative Analyse unterer Altpapiersorten für den Einsatz in Verpackungspapieren und Karton*. Diplomarbeit Nr. 177 am Institut für Papierfabrikation, Darmstadt, 1995
- [19] Dette, S.: *Bestimmung der Qualitätseigenschaften von Kaufhausaltpapier*. Diplomarbeit Nr. 173 am Institut für Papierfabrikation, Darmstadt, 1995
- [20] Putz, H.-J.: *Steigende Altpapiererfassung und ihre Konsequenzen für die Qualitätseigenschaften verschiedener Altpapiersorten*. WfP 124 (1996), Nr. 3, 74-79
- [21] Neukum, P.; Putz, H.-J.; Göttching, L.: *Zusammensetzung und Qualität von Altpapier in Abhängigkeit der regionalen und saisonalen Erfassung*. AiF-Abschlussbericht Nr. 11420, IfP, Darmstadt, 2000

- [22] Neukum, P.; Putz, H.-J.; Götsching, L.: *Zusammensetzung und Qualitätseigenschaften verschiedener Altpapiersorten*. WfP 129 (2001), Nr. 6, 335-343
- [23] Strunz, A.-M.: *Technologische Gebrauchswertanforderungen an wirtschaftlich bedeutende Altpapiersorten*. Vortrag gehalten auf dem PTS-Seminar: Altpapier und Altpapierstoff-Aufbereitungstechnik (Modul 1), München, Manuskript AG 421, 2004
- [24] Klein, M.: *Beurteilung des technologischen Gebrauchswertes von Faserstoffen aus Altpapieren – methodische Grundlagen*. Vortrag gehalten auf dem PTS-Seminar: Qualitätsbewertung und wirtschaftliche Nutzung von Altpapier als Faserrohstoff für die Papierindustrie, Heidenau, Manuskript AG 521, 2005
- [25] Strunz, A.-M.: *Vergleich der Eigenschaften von Sekundärfaserstoffen aus verschiedenen Altpapieren*. Vortrag gehalten auf dem PTS-Seminar: Qualitätsbewertung und wirtschaftliche Nutzung von Altpapier als Faserrohstoff für die Papierindustrie, Heidenau, Manuskript AG 521, 2005
- [26] Bär, G.; Hanecker, E.: *Welches technologische Potenzial steckt heute noch in Altpapierfaserstoffen?* Vortrag gehalten auf dem PTS-Seminar: Qualitätsbewertung und wirtschaftliche Nutzung von Altpapier als Faserrohstoff für die Papierindustrie, Heidenau, Manuskript AG 521, 2005
- [27] Strunz, A.-M.: *Technologische Gebrauchswertkennzeichnung von Hauptaltpapiersorten zur wirtschaftlichen Nutzung für die Papierindustrie*. PTS-Forschungsbericht PTS-FB 28/98, München, 1998
- [28] Renner, K.; Putz, H.-J.; Götsching, L.: *Wissenschaftliche Untersuchung und Begleitung von Modellversuchen zur getrennten Erfassung grafischer Altpapiere*. Band 7: Bewertung der Eigenschaften und der Qualität der getrennt erfassten Altpapiere aus den verschiedenen Modellgebieten. IfP, Darmstadt, 2000
- [29] N.N.: *Wissenschaftliche Untersuchung und Begleitung von Modellversuchen zur getrennten Erfassung graphischer Altpapiere – Modellgebiete Dresden, Neuss-Norf, Eisenhüttenstadt, LK Stormarn, Berlin*. Intecus, Dresden, 2000
- [30] Großmann, H.; Bilitewski, B.: *Quantitative und qualitative Bewertung unterschiedlicher System für die Erfassung von Altpapier*. Laufendes INFOR-Forschungsprojekt Nr. 92R, Dresden, 2006
- [31] Hunold, M.; Götsching, L.: *Wie „alt“ ist Altpapier heute und morgen?* Das Papier 47(1993), Nr. 10 A, V172-V185
- [32] Hunold, M.; Putz, H.-J.: *Auswirkungen von Mengenstromänderungen auf die Altpapierzusammensetzung*. Das Papier 48(1994), Nr. 10 A, V57-V62
- [33] Hunold, M.; Götsching, L.: *Mehrfach-Recycling im halbtechnischen Maßstab*. Das Papier 50(1996), Nr. 10 A, V82-V90
- [34] Schabel, S.; Putz, H.-J.: *Rohstoff Altpapier – ein Ausblick*. WfP, 133 (2005), Nr. 3-4, S. 103-111
- [35] N.N.: *Visuelle Eingangskontrolle für Altpapierlieferungen der Sorte Deinkingware 1.11 in loser Lieferform*. INGEDE-Methode Nr. 7, München, 04.2009
- [36] N.N.: *Eingangskontrolle für Altpapierlieferungen der Sorten 1.06, 1.08-1.11, 2.01, 2.02, 2.05 und 2.06 (bisher D21-D39, E12, J11, J19) in Ballen*. INGEDE-Methode Nr. 8, München, 06.1999
- [37] Beltz, R.: *Weiterentwickeltes Messgerät für die Feuchtebestimmung von Altpapier*. Vortrag gehalten auf dem PTS-Seminar: Altpapier und Altpapierstoff-Aufbereitungstechnik (Modul 1), München, Manuskript AG 421, 2004
- [38] Homepage Firma Emco. http://www.emco-leipzig.com/english/Feuchte/papierfeu_eng.htm (Accessed 21.10.2010)

- [39] Plew, P.: *NIR-Spektroskopie – Ein Überblick. Vortrag gehalten auf dem PTS-Seminar: Altpapier und Altpapierstoff-Aufbereitungstechnik (Modul 1)*, München, Manuskript AG 421, 2004
- [40] Plew, P.: *Vorführung PTS-PBS-NIR-basiertes Messsystem zur Eingangskontrolle von Altpapieren. Vortrag gehalten auf dem PTS-Seminar: Qualitätsbewertung und wirtschaftliche Nutzung von Altpapier als Faserrohstoff für die Papierindustrie*, Heidenau, Manuskript AG 521, 2005
- [41] Behnsen, P.: *Möglichkeiten und Erfahrungen bei der Eingangskontrolle von Altpapier mittels spektroskopischer Messtechnik. Vortrag gehalten auf dem PTS-CTP Deinking-Symposium*, Leipzig, Manuskript DE 604, 2006
- [42] Papiertechnische Stiftung: *Product information PaperBaleSensor*. <http://www.ptspaper.de/live/dokumanagement/psfile/file/99/PBS47679b32ab4f2.pdf> (Accessed 18.03.2008)
- [43] Wagner, J.; Strunz, A.-M.: *Altpapierqualitätsbewertung – Potenzial der Sortiertechnik und ihre Auswirkung auf die Altpapierqualität*. Abschlussbericht INFOR-Forschungsprojekt Nr. 65R, Darmstadt, 2006
- [44] Wagner, J.; Strunz, A.-M.: *Optimierte Nutzung des Rohstoffes Altpapier durch neue Sortiertechniken*. Laufendes INFOR-Forschungsprojekt Nr. 79R, Darmstadt, 2006
- [45] Dommermuth, C.: *Neue Entwicklungen in der Sortiertechnik für Altpapier*. Vortrag gehalten auf dem PTS-Seminar: Altpapier und Altpapierstoff-Aufbereitungstechnik (Modul 1), München, Manuskript AG 421, 2004
- [46] Neugebauer, U.: *Neue Technologien der Altpapiersortierung und deren Auswirkung auf die Qualität und Verfügbarkeit von Altpapiersorten*. Vortrag gehalten auf dem PTS-Seminar: Qualitätsbewertung und wirtschaftliche Nutzung von Altpapier als Faserrohstoff für die Papierindustrie, Heidenau, Manuskript AG 521, 2005
- [47] N.N.: *Liste der deutschen Standardsorten und ihre Qualitäten.*, Herausgeber VDP, BVSE, BDE, Bonn, Juni 2000
- [48] Putz, H.-J.; Götsching, L.: *Über die durch gelöste Substanzen verursachte Belastung des Fabrikationswassers bei der Papierherstellung*. Das Papier, Nr. 7, 307-319, 1983
- [49] Klein, R.: *Ablagerungsverhalten potenziell klebender Stoffe bei der Papierherstellung*. WfP 128 (2000), Nr. 8, 517-522
- [50] Ackermann, C.; Putz, H.-J.: *Entwicklung von Methoden zur quantitativen Analyse von Makro- und Mikro-Stickies*, INGEDE-Projekt 3894 PTS/IfP, Darmstadt, 1997
- [51] Geller, A.N.: *OX-Gehalt und AOX-Abgabe von Faserstoffen*. Allgemeine Papierrundschau 116, Nr. 40, 1030- 1034, 1992
- [52] Hamm, U.; Kersten, A.; Öller, H.-J.: *Untersuchungen zum Verhalten unerwünschter Inhaltstoffe im Altpapier-Neupapier-Kreislauf*. INFOR-Forschungsprojekt Nr. 73, Darmstadt/München, 2006
- [53] Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR): *Empfehlung XXXVI – Papier, Kartons und Pappen für den Lebensmittelkontakt*. Stand 01.06.2009
<http://kse.zadi.de/kse/faces/resources/pdf/360.pdf;jsessionid=F39AFB642A9CD05B6F027649BB091077> (Accessed 29.10.2010)
- [54] Amtsblatt des Europäischen Union: *RICHTLINIE 2005/84/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 14. Dezember 2005 zur 22. Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates zur Angleichung der Rechtsund Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Phthalate in Spielzeug und Babyartikeln)*. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/oj/2005/l_344/l_34420051227de00400043.pdf (Accessed 29.10.2010)

10 Anhang

10.1 Qualitätsparameter der untersuchten Altpapiersorten

Nachfolgend sind die Durchschnittswerte der analysierten Qualitätsparameter für die zwischen 2007-2010 untersuchten Altpapiersorten 1.11, 1.02, 1.04 und 4.03 in **Tabelle 11** aufgeführt. Für die Altpapiersorte 1.11 sind unter den optischen Eigenschaften Angaben zum undeinkten Stoff (US) und deinkten Stoff (DS) aufgeführt. Alle verwendeten Abkürzungen sind im Anschluss an das Inhaltsverzeichnis (vor Seite 1) aufgelistet. Die Ergebnisse der Phthalatuntersuchung sind in Kapitel 3.6.5 auf Seite 80 angegeben.

In den **Tabellen 12-15** sind die Durchschnittswerte der analysierten Qualitätsparameter der jeweiligen Altpapiersorte den verfügbaren Daten aus vorangegangenen Untersuchungen der Jahre 1984, 1994/1996 und 1999 gegenübergestellt.

Tabelle 11: Übersicht der untersuchten Qualitätsparameter für die Altpapiersorten 1.11 (MW L+B), 1.02, 1.04 und 4.03 im Jahr 2010

Parameter	Einheit	1.11 US	1.11 DS	1.02	1.04	4.03
Grundeigenschaften						
Feuchte	%	9,8		10,8	10,5	8,7
Zusammensetzung:						
VPK	%	4,9		39,2	79,1	98,2
GP	%	93,4		54,6	18,3	0,2
U/SPP	%	1,1		2,3	1,0	0,0
PFS	%	0,6		3,9	1,6	1,6
Suspensionseigenschaften						
Asche	%	23,7		20,9	16,5	11,8
EWV	SR	58,5		44,1	39,4	32,9
WRV	%	105,1		102,9	103,9	105,1
Sp150	%	0,33		1,0	1,3	2,8
R30	%	22,4		22,1	23,9	32,9
R50	%	13,2		14,6	15,6	17,1
R100	%	14,3		18,3	18,9	17,5
R200	%	8,7		8,4	8,4	7,4
D200	%	40,9		35,6	32,0	22,4
Stickys	mm ² /kg	13.273		21.045	25.333	10.439
Optische Eigenschaften						
SMZpkt	mm ² /m ²	2.085	1.010	2.360	1.899	570,7
R ₄₅₇	%	45,5	56,8	37,5	30,7	24,6
Y	-	49,5	63,6	44,5	39,5	34,9
L*	-	75,7	83,7	72,6	69,1	65,6
a*	-	-0,3	-0,9	0,8	1,7	3,1
b*	-	4,6	6,7	8,5	12,3	15,9
ERIC	ppm	646,4	212,4	533,1	530,0	499,1
Ausbeute	%	57,1	-	-	-	-
Grundeigenschaften und mechanische Eigenschaften						
m _A	g/m ²	78,3		78,9	78,6	79,0
RL	km	3,5		3,4	3,8	3,6
WRA	mN*m/m	1.165		1.110	1.118	1.136
Berstf.	kPa	138,6		134,4	153,2	150,5
m _A	g/m ²	-		126,6	126,2	126,7
Dicke	µm	-		212	213	224
RCT	kN/m	-		1,03	1,11	1,04
SCT	kN/m	-		2,4	2,5	2,4
CMT	N	-		130,1	142,1	135,8
Chemische Inhaltsstoffe						
CSB	kg O ₂ /t	8,1		26,5	28,6	24,1
OX	mg/kg TS	146,5		166,6	167,3	120,0
PCP (Methanol)	µg/kg TS	13,3		49,9	42,0	23,5
PCP (KWE)	µg/kg TS	12,6		20,4	15,6	5,0
DIPN	mg/kg TS	22,5		23,4	23,7	11,4
Phthalate	mg/kg TS	s. Tab. 7		s. Tab. 7	s. Tab. 7	s. Tab. 7

Tabelle 12: Übersicht der untersuchten Qualitätsparameter für die Altpapiersorte 1.11 in den Jahren 1996, 1999 und 2010 (MW L+B)

<i>Parameter</i>	<i>Einheit</i>	<i>1996 US</i>	<i>1996 DS</i>	<i>1999 US</i>	<i>1999 DS</i>	<i>2010 US</i>	<i>2010 DS</i>
Grundeigenschaften							
Feuchte	%	8,8		11,1		9,8	
GP	%	95,0		92,4		93,4	
VPK	%	3,9		3,0		4,9	
UPP	%	0,2		4,0		1,1	
PFS	%	0,9		0,6		0,6	
Suspensionseigenschaften							
Asche	%	17,6		19,5		23,7	
EWV	SR	60,0		48,0		58,5	
WRV	%	-		-		105,1	
Sp150	%	-		0,20		0,33	
R30	%	-		26,3		22,4	
R50	%	-		11,5		13,2	
R100	%	-		13,4		14,3	
R200	%	-		6,5		8,7	
D200	%	-		42,1		40,9	
Stickys	mm ² /kg	-		8.530		13.273	
Optische Eigenschaften							
SMZpkt	mm ² /m ²	1.784	544,0	1.271	722,0	2.085	1.010
R ₄₅₇	%	44,6	59,1	44,9	56,3	45,5	56,8
Y	-	48,4	65,7	48,0	61,2	49,5	63,6
L*	-	75,1	84,8	73,1	82,5	75,7	83,7
a*	-	-0,4	-0,7	-0,4	-0,6	-0,3	-0,9
b*	-	3,3	6,9	3,3	5,2	4,6	6,7
ERIC	ppm	-	-	-	-	646,4	212,4
Ausbeute	%	-	-	-	-	57,1	-
Grundeigenschaften und mechanische Eigenschaften							
m _A	g/m ²	-		79,5		78,3	
Dicke	µm			136		134	
RL	km	3,6		3,4		3,5	
WRA	mN*m/m	1.120		1.060		1.165	
Berstf.	kPa	-		135,3		138,6	
Chemische Inhaltsstoffe							
CSB	kg O ₂ /t	12,0		10,0		8,1	
OX	mg/kg TS	-		136,6		146,5	
PCP (Methanol)	µg/kg TS	-		34,4		13,3	
PCP (KWE)	µg/kg TS	-		-		12,6	
DIPN	mg/kg TS	-		-		22,5	
Phthalate	mg/kg TS	-		-		s. Tab. 7	

Tabelle 13: Übersicht der untersuchten Qualitätsparameter für die Altpapiersorte 1.02 in den Jahren 1984, 1994, 1999 und 2010

<i>Parameter</i>	<i>Einheit</i>	<i>1984</i>	<i>1994</i>	<i>1999</i>	<i>2010</i>
Grundeigenschaften					
Feuchte	%	11,9	12,1	13	10,8
Zusammensetzung:					
VPK	%	41,4	26,5	36,2	39,2
GP	%	57,0	69,0	53,0	54,6
SPP	%	-	-	7,9	2,3
PFS	%	1,6	4,5	2,9	3,9
Suspensionseigenschaften					
Asche	%	14,0	15,0	17,0	20,9
EWV	SR	35,0	43,0	39,0	44,1
WRV	%	-	-	-	102,9
Stippen-/Splittergehalt	%	2,0	4,0	0,4	0,8
Faserlangstoff	%	35,0	32,7	35,1	33,3
Faserkurzstoff	%	25,0	21,0	19,3	23,6
Faserfeinstoff	%	38,0	42,3	45,2	42,4
Stickys	mm ² /kg	-	-	28.480	21.045
Optische Eigenschaften					
SMZpkt	mm ² /m ²	-	-	885	2.360
R ₄₅₇	%	38	43,8	39,5	37,5
Y	-	-	-	45,6	44,5
L*	-	-	-	73,1	72,6
a*	-	-	-	0,5	0,8
b*	-	-	-	7,4	8,5
ERIC	ppm	-	-	-	533,1
Grundeigenschaften und mechanische Eigenschaften					
m _A	g/m ²	-	-	78,7	78,9
RL	km	2,3	3,2	3,2	3,4
WRA	mN*m/m	950,0	1.037	1.160	1.110
Berstf.	kPa	-	-	134,0	134,4
m _A	g/m ²	-	-	133	126,6
Dicke	µm	-	-	220	212
RCT	kN/m	0,86	0,91	1,02	1,03
SCT	kN/m			2,3	2,4
CMT	N	97,0	125,0	150,0	130,1
Chemische Inhaltsstoffe					
CSB	kg O ₂ /t	18,0	15,0	24,0	26,5
OX	mg/kg TS	-	-	219,9	166,6
PCP (Methanol)	µg/kg TS	-	-	132,0	49,9
PCP (KWE)	µg/kg TS	-	-	-	20,4
DIPN	mg/kg TS	-	-	-	23,4
Phthalate	mg/kg TS	-	-	-	s. Tab. 7

Stp: Stippengehalt; Fl: Faserlangstoff; Fk: Faserkurzstoff; Fei: Faserfeinstoff

Tabelle 14: Übersicht der untersuchten Qualitätsparameter für die Altpapiersorte 1.04 in den Jahren 1984, 1994, 1999 und 2010

<i>Parameter</i>	<i>Einheit</i>	<i>1984</i>	<i>1994</i>	<i>1999</i>	<i>2010</i>
Grundeigenschaften					
Feuchte	%	14,5	10,7	13,0	10,5
Zusammensetzung:					
VPK	%	71,0	84,1	80,9	79,1
GP	%	27,0	14,0	12,0	18,3
SPP	%	-	-	5,0	1,0
PFS	%	2,0	1,9	2,1	1,6
Suspensionseigenschaften					
Asche	%	9,0	10,0	12,0	16,5
EWV	SR	33,0	31,0	32,0	39,4
WRV	%	-	-	-	103,9
Stippen-/Splittergehalt	%	2,0	2,5	0,9	1,0
Faserlangstoff	%	40,0	43,7	40,6	35,8
Faserkurzstoff	%	24,0	23,0	22,3	24,5
Faserfeinstoff	%	34,0	30,8	35,4	38,7
Stickys	mm ² /kg	-	-	21.045	25.333
Optische Eigenschaften					
SMZpkt	mm ² /m ²	-	-	1.065	1.899
R ₄₅₇	%	33,0	30,7	30,7	30,7
Y	-	-	-	39,3	39,5
L*	-	-	-	68,9	69,1
a*	-	-	-	1,7	1,7
b*	-	-	-	12,3	12,3
ERIC	ppm	-	-	-	530,0
Grundeigenschaften und mechanische Eigenschaften					
m _A	g/m ²	-	-	80,4	78,6
RL	km	2,6	3,4	3,6	3,8
WRA	mN*m/m	1.050	1.176	1.164	1.118
Berstf.	kPa	-	-	146	153,2
m _A	g/m ²	-	-	133,4	126,2
Dicke	µm	-	-	224	213
RCT	kN/m	0,8	1,1	1,2	1,11
SCT	kN/m	-	-	2,6	2,5
CMT	N	96,0	130,0	151,0	142,1
Chemische Inhaltsstoffe					
CSB	kg O ₂ /t	19,0	22,0	24,0	28,6
OX	mg/kg TS	-	-	165,0	167,3
PCP (Methanol)	µg/kg TS	-	-	66,7	42,0
PCP (KWE)	µg/kg TS	-	-	-	15,6
DIPN	mg/kg TS	-	-	-	23,7
Phthalate	mg/kg TS	-	-	-	s. Tab. 7

Stp: Stippengehalt; Fl: Faserlangstoff; Fk: Faserkurzstoff; Fei: Faserfeinstoff

Tabelle 15: Übersicht der untersuchten Qualitätsparameter für die Altpapiersorte 4.03 in den Jahren 1984, 1999 und 2010

<i>Parameter</i>	<i>Einheit</i>	<i>1984</i>	<i>1999</i>	<i>2010</i>
Grundeigenschaften				
Feuchte	%	7	14	8,7
Zusammensetzung:				
VPK	%	97,5	95,2	98,2
GP	%	1,0	1,0	0,2
SPP	%	-	3,5	0,0
PFS	%	1,5	0,3	1,6
Suspensionseigenschaften				
Asche	%	6,0	9,0	11,8
EWV	SR	30	29	32,9
WRV	%	-	-	105,1
Stippen-/Splittergehalt	%	2,0	1,5	2,2
Faserlangstoff	%	44,0	43,9	46,3
Faserkurzstoff	%	25,0	20,1	23,2
Faserfeinstoff	%	29,0	34,4	28,3
Stickys	mm ² /kg	-	42.050	10.439
Optische Eigenschaften				
SMZpkt	mm ² /m ²	-	1.804	570,7
R ₄₅₇	%	26,0	25,3	24,6
Y	-	-	34,9	34,9
L*	-	-	65,5	65,6
a*	-	-	2,6	3,1
b*	-	-	15,1	15,9
ERIC	ppm	-	-	499,1
Grundeigenschaften und mechanische Eigenschaften				
m _A	g/m ²	-	79,4	79,0
RL	km	3,0	3,5	3,6
WRA	mN*m/m	1.150	1230	1.136
Berstf.	kPa	-	140	150,5
m _A	g/m ²	-	134	126,7
Dicke	µm	-	229	224
RCT	kN/m	0,95	1,10	1,04
SCT	kN/m	-	2,5	2,4
CMT	N	108	158	135,8
Chemische Inhaltsstoffe				
CSB	kg O ₂ /t	30	33	24,1
OX	mg/kg TS	-	191,6	120,0
PCP (Methanol)	µg/kg TS	-	83,8	23,5
PCP (KWE)	µg/kg TS	-	-	5,0
DIPN	mg/kg TS	-	-	11,4
Phthalate	mg/kg TS	-	-	s. Tab. 7

Stp: Stippengehalt; Fl: Faserlangstoff; Fk: Faserkurzstoff; Fei: Faserfeinstoff

10.2 Anlagenpläne der untersuchten Altpapier-Sortierbetriebe

Im Weiteren wurden vereinfachte Blochschaubilder der untersuchten Altpapier-Sortieranlagen dargestellt (Abb. 71 – 76). Bei den Altpapier-Sortierbetrieben A und B handelt es sich um Anlagen die überwiegend auf manueller Sortierung basieren. Das Funktionsprinzip der Altpapier-Sortierbetriebe C, D, E und F basiert überwiegend auf sensorgestützter Sortierung.

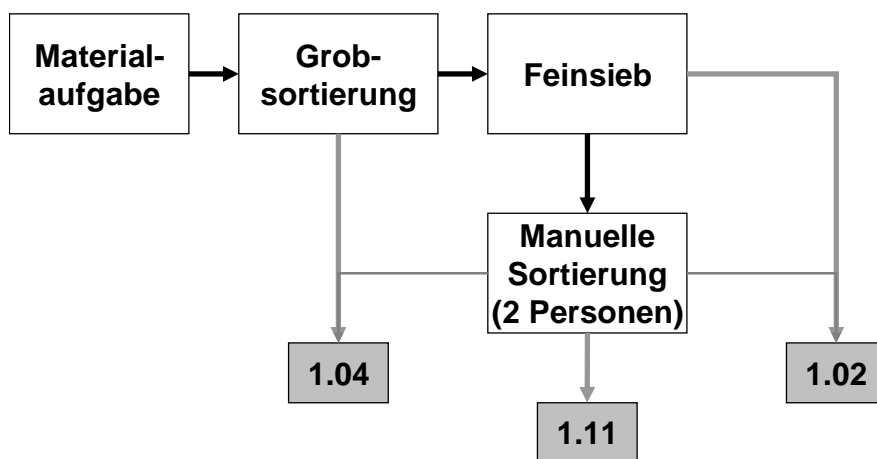


Abb. 71: Anlagenplan des Altpapier-Sortierbetriebs A

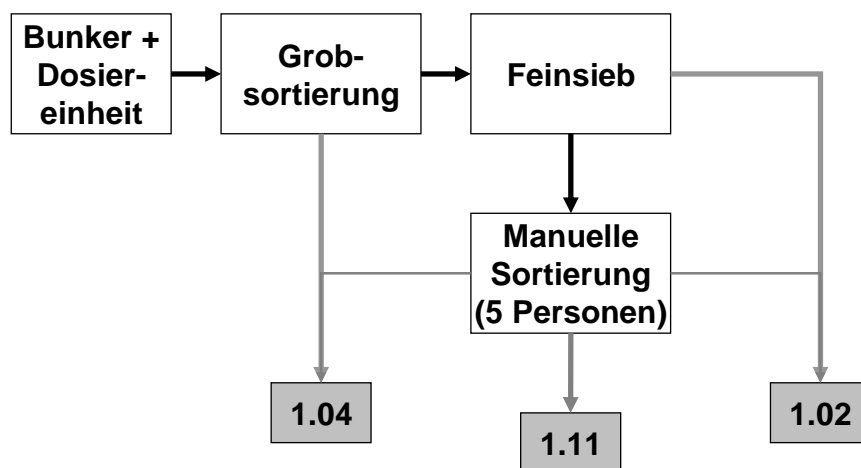


Abb. 72: Anlagenplan des Altpapier-Sortierbetriebs B

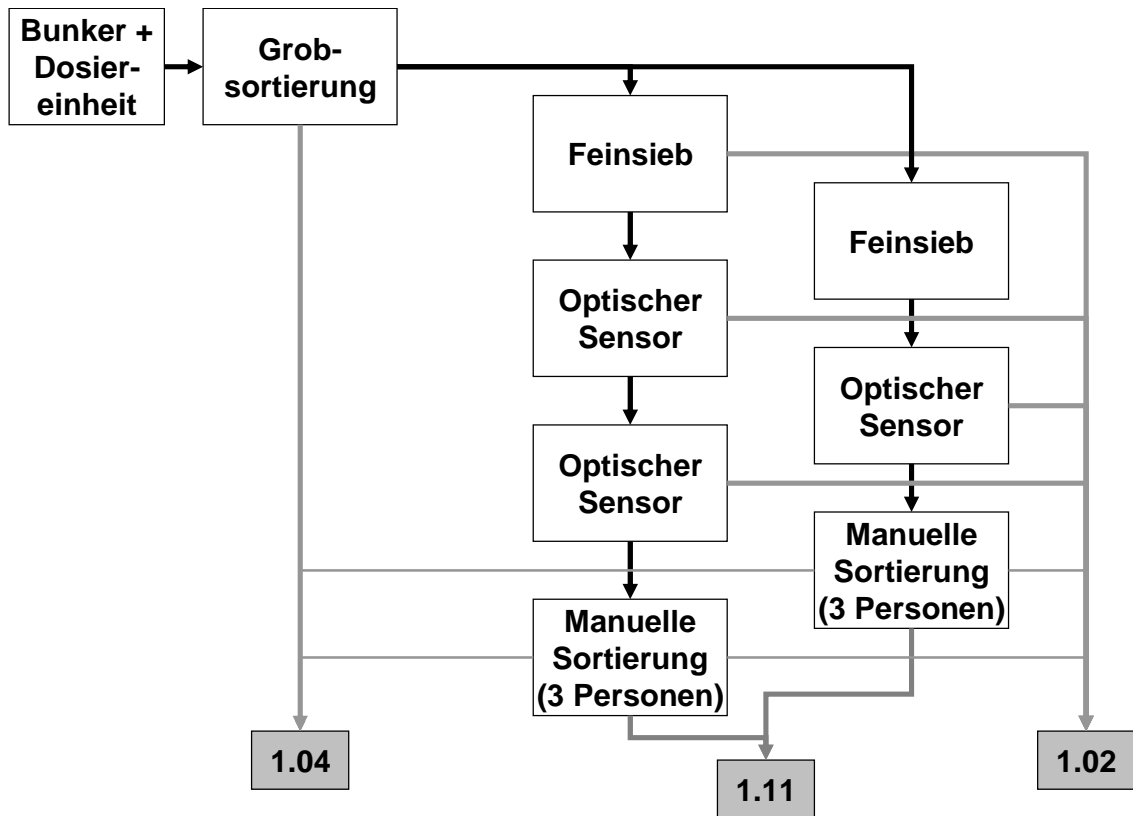


Abb. 73: Anlagenplan des Altpapier-Sortierbetriebs C

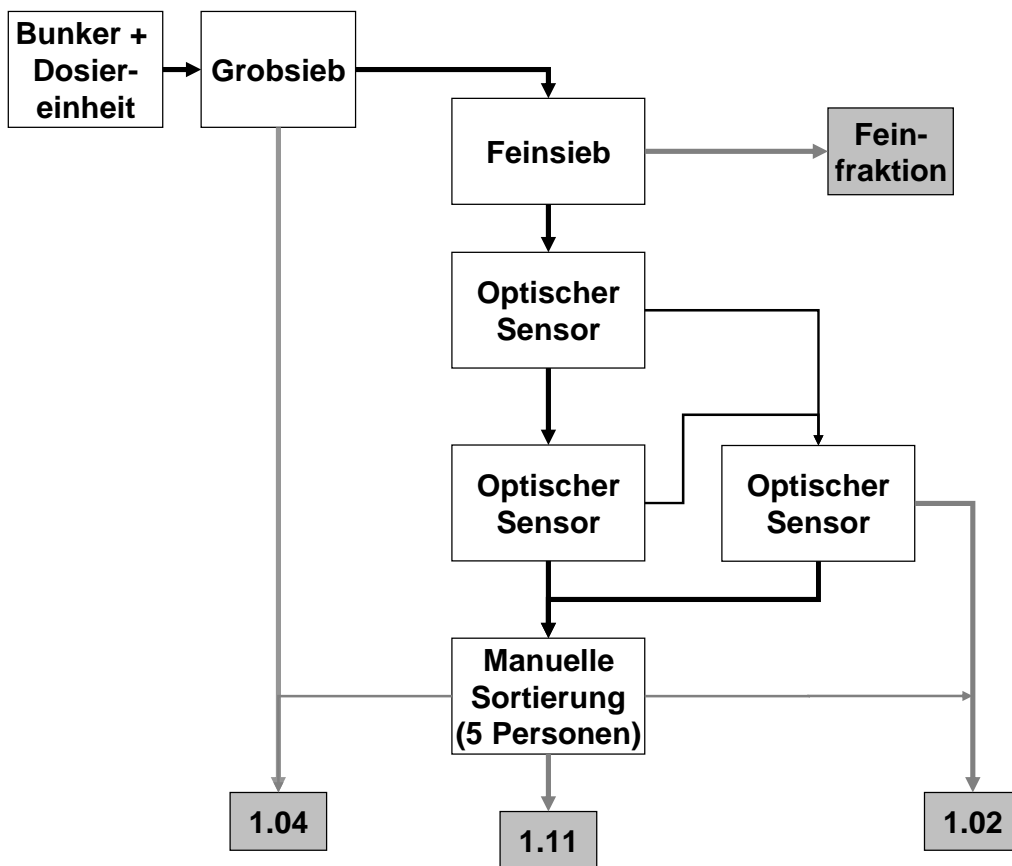


Abb. 74: Anlagenplan des Altpapier-Sortierbetriebs D

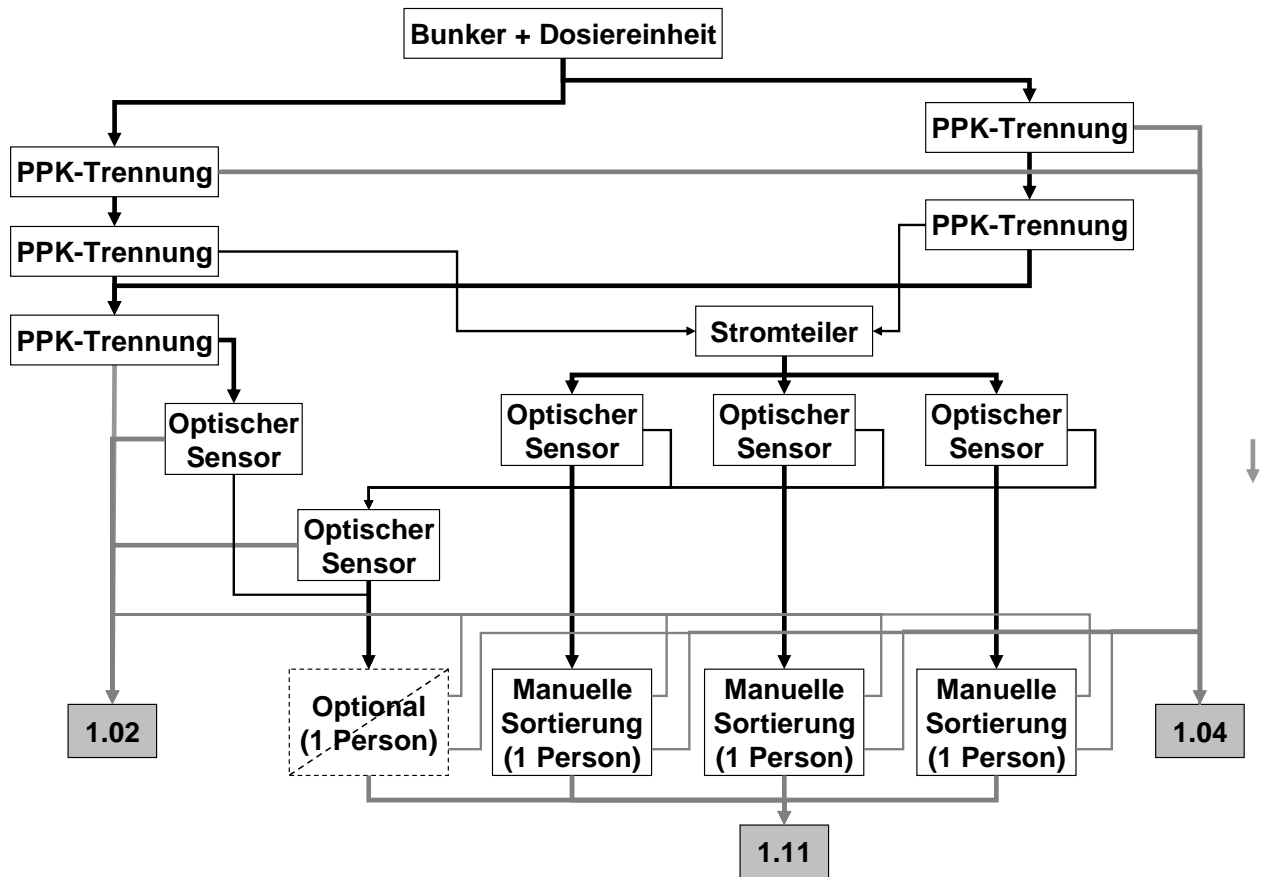


Abb. 75: Anlagenplan des Altpapier-Sortierbetriebs E

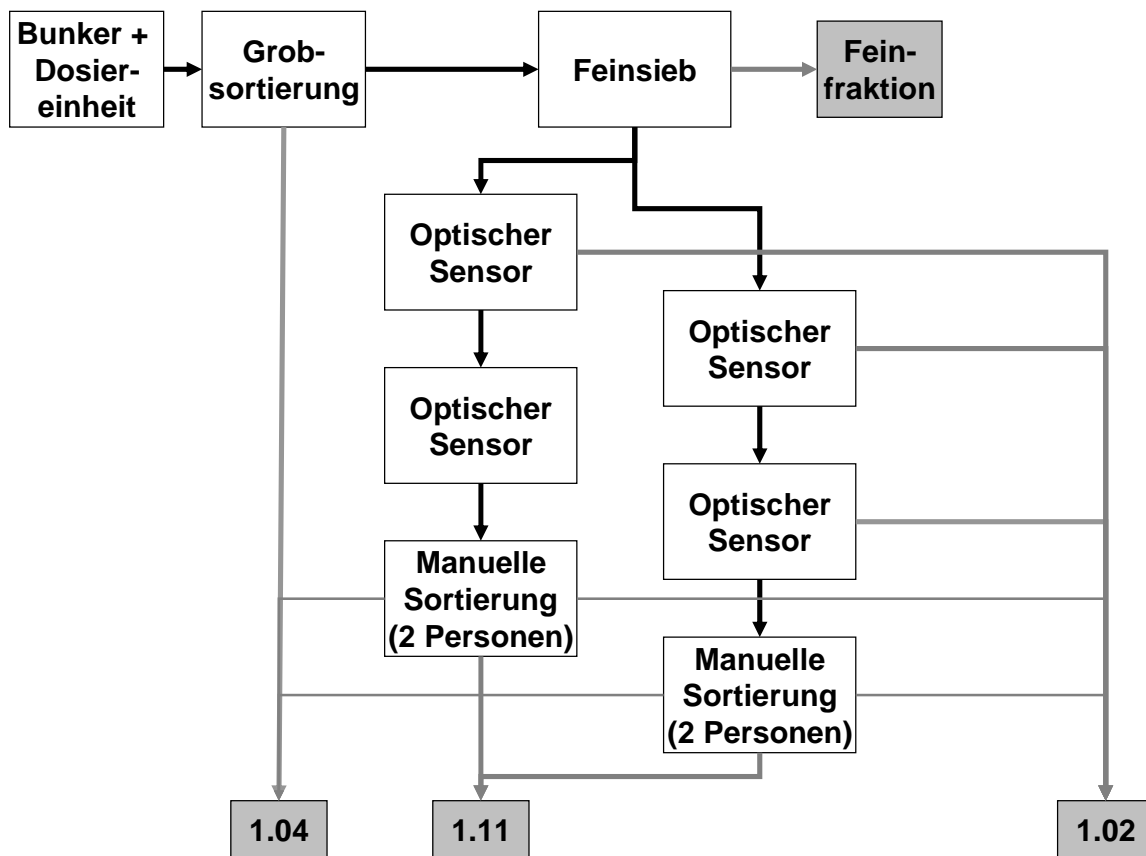


Abb. 76: Anlagenplan des Altpapier-Sortierbetriebs F